

広域的な道路交通公害対策による 環境改善効果の予測システムの開発*

Development of Simulation Program for Assessing the Improvement of
Environmental Impacts by Countermeasures on Regional Road Traffic Pollution

森口 祐一**・西岡 秀三***・清水 浩****

By Yuichi MORIGUCHI, Shuzo NISHIOKA & Hiroshi SHIMIZU

A simulation program named RTPSS (Regional Traffic Pollution Simulation System) is developed, in order to assess the effectiveness of countermeasures for improving regional road traffic pollution. The RTPSS consists of a sequence of data and submodels including O-D table, road network data, traffic assignment model, emission and dispersion models, exposure model, as well as a graphic presentation subsystem. Several indicators such as total emission volume and population exposed to pollution level above standards can be calculated. A case study on the Tokyo Metropolis was implemented to predict the impact of policy options including modal shift and road network change.

1. 研究の背景と目的

自動車による大気汚染、騒音等のいわゆる道路交通公害問題は、さまざまな対策が講じられてきたにもかかわらず、依然大きな社会問題として残されている。自動車保有水準の向上に伴う自動車交通総量の伸び、ディーゼル車の比率の増大、多頻度少量輸送に代表される輸送の質的变化等の環境負荷増大要因が、自動車単体の技術的改良（いわゆる単体対策）および防音壁や緩衝緑地の設置などの属地的対策（いわゆる沿道対策）を柱とする諸対策の効果を相殺しているのが現状である。とくに、NO_xによる大気汚染はむしろ悪化の傾向にあり、都市部では沿道地区以外にも面的に汚染が広がり、環境基準を達成で

きない状況がつづいている。こうした状況には、沿道の属地的対策では対処できず、地域全体での排出総量の規制、さらには交通量の規制すらも提案されるに至っている。

このため近年、鉄道など他の輸送機関への振り替え（モーダルシフト）、交通流の円滑化のためのバイパスや環状道路の整備など、広域的な自動車交通流の制御による対策が重視されるようになってきた。一方、交通量の伸びや都市圏への集中のために大都市部では交通渋滞が頻発しており、大気汚染物質の排出を増大させているのみならず迅速な輸送という自動車交通本来の機能にも支障をきたしている。従って、広域的な交通流の円滑化のための施策は公害対策の面からだけでなく、道路交通自身の改善にとっても重要な課題となっている。

さらに、地球温暖化問題をはじめとする地球環境問題への対応が交通分野にも求められており、モーダルシフトや代替燃料車などによるエネルギー効率

*キーワード：交通公害、環境影響評価、情報システム

**正会員 国立環境研究所主任研究員

***正会員 工博 同上 総括研究管理官

****正会員 工博 同上 総合研究官

(〒305 茨城県つくば市小野川16-2)

の改善が対策として挙げられている。従って、道路交通公害問題に単体対策や沿道対策で個別に対処するだけでなく、環境問題による制約の中で如何に交通本来の機能を確保し、環境と調和した交通体系を築いていくかが求められている。

こうした中で、さまざまな対策の環境改善効果を定量的に予測・評価する手法を開発することが、対策の方向性を見いだす上で不可欠であるが、これに必要なアプローチは、対策の種類によって大きく異なる。自動車単体の対策は、多くの場合全国一律に行われるので、汚染物質排出量の変化や、これを介しての汚染レベルの変化は比較的容易に予測できる。一方、防音壁や緩衝緑地の設置、道路構造の改良といった局地的対策の評価には、拡散モデルや騒音伝播モデルが適用できる。単体対策や局地対策は、自動車交通流そのものには直接影響を与えないため、交通量や走行モードは所与のものとして扱うことができるからである。これに対し、モーダルシフト、交通規制、道路整備などによる広域的対策は、地域の交通流を変化させるものであることから、総走行量を与えて汚染排出総量を予測する単体対策用のモデルや、道路リンクごとの交通量を与えて特定地点の汚染レベル予測を行う沿道対策用のモデルでは不十分であり、交通流の予測を含めた多くのサブモデルを連結したシステムが必要である。

そこで、本研究では、従来開発されてきた交通流の予測モデルと、環境汚染の予測モデルを連結し、さらに地理的情報の画像表示機能を組み合わせたシステムを構築することにより、道路交通公害に対する各種対策の効果を地域横断的に評価する手法を開発することを目的とする。

2. 従来の関連する研究と本研究の特色

こうした問題設定に対する研究の前段階として、森口ら¹⁾は、道路交通による環境影響を汚染負荷発生、環境中の状態量、社会的影響の3段階に分けて定式化し、各段階に応じて広域的観点からの評価指標を提案するとともに、地理情報処理を主体とする支援情報システムを構築し、東京都内の主要幹線道路沿道の交通公害状況の過去からの推移を例に、指標の試算結果を報告している。また、Seetharam ら²⁾は、地理情報システム (GIS) およびエクス

ポートシステムを取入れ、交通発生から環境影響に至る一連の過程をモデル化した環境影響評価システムを構築している。

道路ネットワークへの交通量配分予測に基づいて環境影響分析を行った事例としては、森地ら³⁾の東京湾横断道建設による観光交通量の変化に伴う環境影響分析、黒川⁴⁾の広域交通幹線整備および多核分散型都市構造政策による影響分析がある。これらの研究は、施策が道路網の交通量の変化を通じてもたらす広域的な環境影響を予測した数少ない事例であるが、環境変化の予測は道路リンクごとまたは地域全体のNOx 排出量、すなわち汚染負荷発生の段階までで止まっており、地域内の汚染分布の予測には至っていない。

そこで、本研究は、これら個々の関連研究で蓄積された方法論を生かし、一つのシステムにまとめあげることにより、汎用性・実用性の高い環境影響予測システムの開発を目指した。本研究の特色は以下のとおりである。

- ① OD表および道路ネットワークデータに基づく交通量配分モデル、交通量・速度データに基づく排出強度測モデル、排出強度データに基づくNOx 汚染濃度分布予測モデル、汚染濃度分布と人口分布に基づく曝露人口予測モデルを連結し、各種施策の影響を汚染濃度分布や汚染への曝露人口といった精緻な環境指標で評価できるシステムとしたこと。
- ② 新たな幹線道路の整備や既存の道路の拡幅、車種別通行規制、速度規制などのさまざまな施策を評価できるよう、道路網データの設定をワークステーション上で対話的にできるようにしたこと。
- ③ 走行速度別、車種別の排出原単位表を対話的に設定できるようにし、単体対策による排出係数の変化、低公害車への転換の効果、走行モード変化による影響などをきめ細かに評価できるようにしたこと。
- ④ ワークステーションのマルチウインドウ環境下で、道路リンク地図、メッシュ地図、グラフなどを用いて予測条件や予測結果を視覚的にわかりやすく表示する機能をもたせこと。
- ⑤ わが国で道路交通の最も集中する首都圏中心部を事例分析の対象とし、道路網整備や貨物車の鉄道への輸送などの具体的対策シナリオについて環境改善効果の試算を行ったこと。

3. 広域交通公害シミュレーションシステム

(RTPSS)の開発

(1) システムの基本的構造と用途

本研究で開発したシステムの基本構造は、既に作成された道路交通公害の現況評価のための情報システム¹⁾の前段に、交通量予測モデルを連結したものである。すなわち、既存のシステムでは、汚染レベルや曝露人口などの指標を計算に必要な道路リンクごとの車種別交通量および走行速度を、道路交通センサデータ等から既知の値として与えていたが、本研究ではこれらの値に交通量配分シミュレーションによる予測結果を適用した。このほか、多様な施策の効果分析に使えるように予測条件の設定のためのマン・マシンインターフェースを充実させ、このシステムを広域交通公害シミュレーションシステム(RTPSS: Regional Traffic Pollution Simulation System)と名付けた。

RTPSSは図1に示すサブモデルとデータから構成されるよう設計した。本研究で新たに追加された機能の中核は、交通量配分シミュレーションを行う部分であり、その入力条件であるOD交通量および道路網の設定のためのサブシステムが前段にある。

このシステムが評価の対象としている対策は、自動車交通総量の削減、特定地域・路線の車種別通行規制、環状道路やバイパスの整備、貨物輸送の軌道系交通への大量転換など、都市あるいは都市圏スケールでの交通流に変化をもたらすものが主であるが、低公害車の特定用途への大量導入、単体対策、沿道対策なども視野に入れている。これらの施策による条件の変化を、図1に示すように道路網データ、O

D表、排出係数表の修正といった形で与えた上で一連のシミュレーションを行うことにより、その環境影響を表す指標が計算される。

(2) RTPSSの構成

RTPSSはエンジニアリングワークステーション(Sparc station IPX)上で動作するものであり、マウスによる指示とキーボードからのコマンド入力により対話的に処理を行うシステムとなっている。現時点では、一部のサブモデルの処理をLANで接続された他の計算機(VAX8550)上で行っているが、ワークステーションへの移植に技術的な問題点はなく、最終的には全ての処理をワークステーションで行う計画である。

現在までに行ったケーススタディの対象地域は首都圏中心部であり、東京都心から半径20km程度、東京外郭環状道路の予定路線を包含する範囲についてのデータを入力した。車種は道路交通センサで用いられている8車種に、低公害乗用車、低公害貨物車、低公害バスの3車種を加えた11車種が扱えるようにした。環境影響の項目として本論文ではNOxによる大気汚染についての計算結果を報告するが、サブモデルの入れ替えにより、他の大気汚染物質や騒音を対象とすることが可能である。

(3) ワークステーション上のRTPSSの機能

RTPSSによる環境影響の予測フローは、図2に示したとおりである。これらのうち、現時点ではSTEP1からSTEP5までについて、ワークステーション上で対話的に処理を行っている。ここではワークステーション上のサブモデルの仕様および機能について述べ、STEP6については次節で述べる。

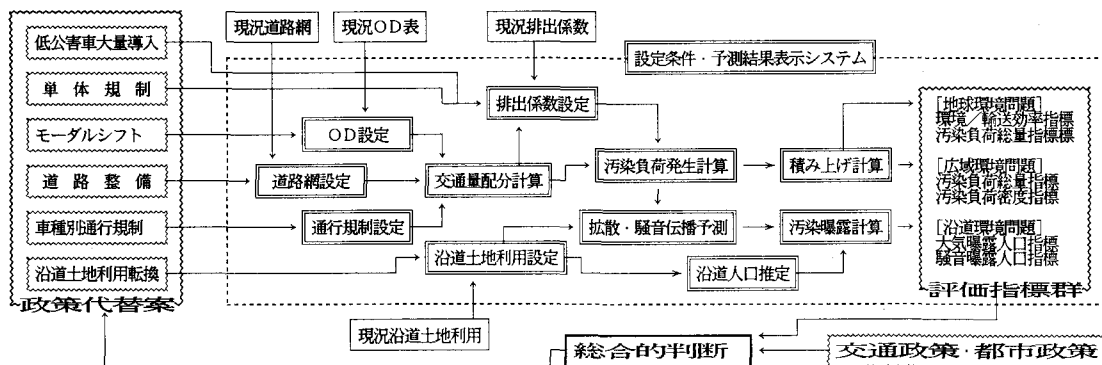


図1 RTPSSの基本構造

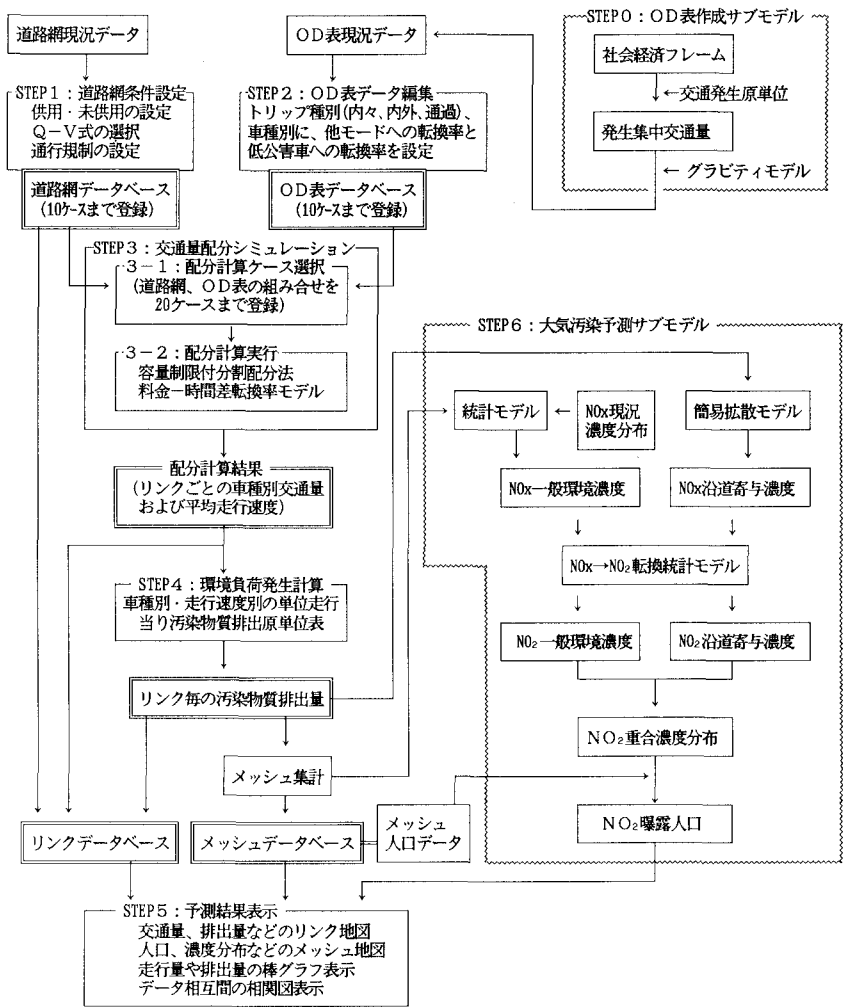


図2 RTPSSによる環境影響予測の流れ

a) 道路網の条件設定

交通量配分予測の対象は、高速道路、国道、主要地方道および一部の地方道とし、現在の供用済み路線に、2010年頃までに供用が見込まれる路線を追加して、個々の道路リンクごとに、供用・未供用を設定できるようにした。路線区間ごとにQ-V式の形式、車線数など道路の規格および特定車種の通行禁止などの条件をワークステーションの画面上で対話的に設定することができる。これによって、計画・建設中の道路の一部または全部が供用された場合と現況との比較や、現況の道路網の一部で通行規制を実施した場合と現況との比較、拡幅による交通容量の増加などの影響の評価が可能となる。交通量配分に用いた道路リンク数は対象地域内で1455であり、

配分計算に必要な対象区域外のリンクを加えた総数は1956リンクである。

b) ゾーン分割とOD交通量の設定

発生集中交通量や分布交通量の設定に用いるゾーン分割は、都心部においてはBゾーンを用い、周辺部についてはいくつかのBゾーンを統合したゾーンを用いた。ゾーン数は対象地域内97、域外70の合計167である。本システムは当初、4段階推計モデルの第3段階に位置する分布交通量、すなわちOD表の現況値を外生的に与え、モーダルシフトなどの対策は、このOD表を修正することによって設定するように設計した。しかし、Bゾーン単位のOD表データの提供が受けられなかったため、入手できた都道府県間OD表を参考に独自に推計OD表を作成し、

これを現況値として与えた。この推計過程（図2のSTEP0）はRTPSSの対話型システムとは独立であるが、結果的に4段階推計モデルの全過程を内生的モデルとして組み入れたことになる。

推定OD表の作成は次の手順で行った。まず、市町村別の車種別登録台数を1kmメッシュの人口データなどをもとにBゾーンに按分し、ゾーンごとの登録台数を推定した。これと、都道府県間OD表の実績値から求めた登録台数あたりのトリップ発生原単位を用いて、各ゾーンからの発生交通量を求めた。次に、ゾーン間の分布交通量はグラビティモデルを用いて推定した。グラビティモデルの係数は、平均トリップ長および都道府県間のトリップ数が実績値に近くなるよう調整した。なお、用いたデータの制約から、車種分類は軽自動車を除く6車種とした。

こうして作成した現況推定OD表を基本として、他の輸送機関への転換率、電気自動車などの低公害車への転換率を車種ごとに対話的に設定できる機能を用意した。但し、対話的な転換率の設定は、対象地域を通過するトリップ、対象地域内と地域外の間のトリップ、対象地域内相互発着のトリップの3種類ごとに行うようにしており、特定のゾーン間トリップの転換はOD表の原データの修正によって行う。

c) 交通量配分シミュレーション

こうして設定された道路網データおよびODデータは各々10ケースをシステムに登録することができる。交通量配分シミュレーション機能では、これらを組み合わせて断面交通量予測を行い、結果を20ケースまで登録できるようにした。配分シミュレーションには、容量制限付転換率曲線配分法を用いた。分割数を5とした場合で、1ケースのシミュレーションに要する時間はSparc station-IPX上で約5分であり、対話型システムとして満足できる計算速度を達成している。現況再現結果と道路交通センサス実測値との相関係数は0.70であり、OD表が独自推計のものであることが誤差の一因と考えられる。

d) 環境負荷発生の計算

交通量配分シミュレーションによって断面交通量が得られれば、次の段階は、NOxなどの大気汚染物質排出量や騒音のパワーレベルなど、環境負荷の発生量の計算である。一般にこうした負荷発生は走行モードによって変化する。交通量配分シミュレーシ

ョンでは、Q-V式によって、配分終了時点での推定走行速度が得られる。そこで、車種ごと、走行速度ランクごとに、単位走行距離あたりの負荷発生原単位を記した表を用い、リンクごとの断面交通量から負荷発生量を計算するようにした。単体対策による大気汚染物質排出原単位や騒音のパワーレベルの変化は、負荷発生原単位表の数値の修正で表現できるので、RTPSSを単体規制の効果の評価に用いることもできる。とくに、排出係数を速度ごとに与える方式を用いているので、道路網上の走行速度を反映した効果の予測が行える点に特徴がある。

e) シミュレーション結果の表示

これらの一連のシミュレーション結果は、ワークステーションの画面上に地図、ヒストグラム、散布図などの形で表示される。これは、既存の現況評価のための表示システム¹⁾を一部改良したものであり、機能は既に開発したものと基本的には同じである。ワークステーションのマルチウインドウ機能により多数の地図やグラフを同時に表示できるので、複数の対策シナリオの効果の予測結果を並べて表示して比較することが可能である。また、道路交通センサスによる実測交通量データも同時に扱えることから、交通量配分シミュレーションによる現況の再現状況のチェックにも利用可能である。図3に、結果の画面表示例を示す。

(4) 大気汚染濃度および曝露人口の推定モデル

現在までにワークステーション上に構築したRTPSSの中核部分は、汚染物質排出量やパワーレベルの計算までを行うものであり、大気拡散モデルや騒音伝播モデルは含まれていない。しかし、対策効果の評価には、汚染物質排出量にとどまらず、汚染レベルの空間分布、さらには人口分布を加味した汚染曝露量のようなより高度な指標が求められる。

そこで、リンクごとの排出強度から拡散予測式によってNOx濃度分布を求め、これをNO₂濃度に換算し、さらに人口分布データと組み合わせて濃度ランク別の曝露人口分布を推計するサブモデルを別途作成し、RTPSSに連結した。このサブモデルは、都市大気汚染による健康影響サーベイランスシステム構築のために開発したもの⁵⁾を転用したものである。ここではその概要を記す。

このモデルは、道路からの局地的寄与を除いた一

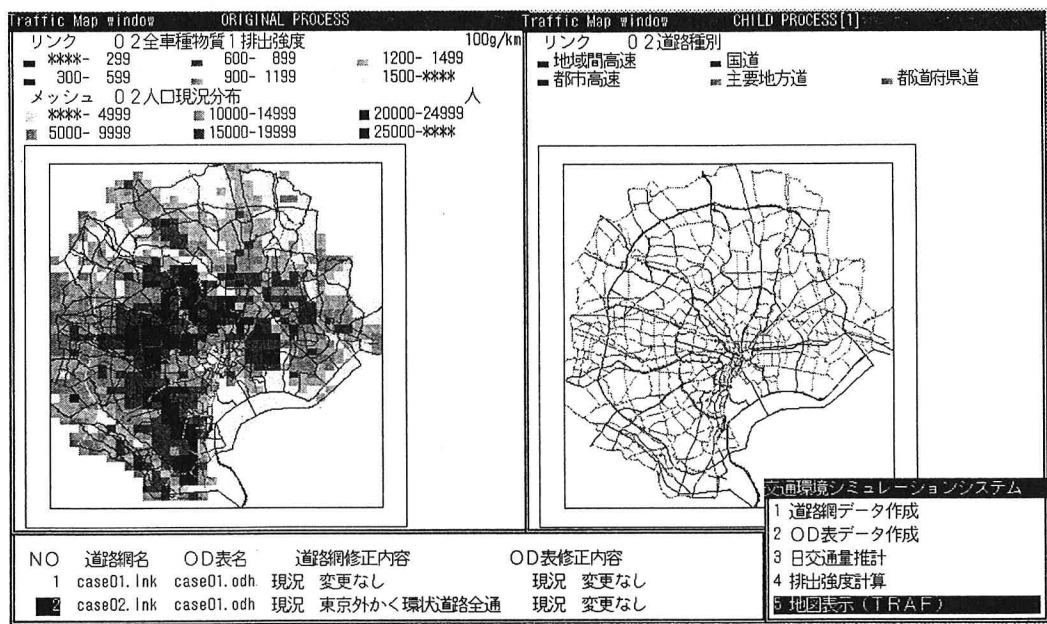


図3 RTPSSの予測結果出力表示画面の例

般環境(バックグラウンド)濃度 C_b と、近傍の道路からの寄与濃度 C_r の重合和を推定濃度とするものである。 C_b は、厳密には広域拡散モデルによって推定できるが、これには固定発生源データや気象データなどが別途必要である。ここでは一般環境の常時監視データを内挿して1kmメッシュ単位の現況濃度 C_{b0} をまず求め、統計モデルによって排出量変化を濃度変化に換算した値 ΔC_b をこれに重合して、予測ケースの一般環境濃度 $C_b = C_{b0} + \Delta C_b$ を推定した。統計モデルは、各メッシュ周辺のNkm四方の平均排出密度 Q_N 、地域全体の平均排出密度 Q_a から、

$$\Delta C_b = \alpha \Delta Q_N + \beta \Delta Q_a$$

で表されたとした。現況濃度分布と排出密度分布の回帰分析から $N=5$ 、 $\alpha=7.5$ [ppb/(g/sec・km²)]を得たのち、対象道路からの排出量が地域の全排出量に占める割合をもとに、 $\beta=7.5$ と設定した。

道路からの寄与濃度 C_r の計算には、地上の濃度を道路からの距離に応じて求める半経験式を作成した。この半経験式では、道路からのNOx排出強度を q 、代表風速を u 、汚染物質の鉛直方向への広がり幅を σ としたときに濃度 C_r が、 $C_r = q / u \sigma$ で与えられる。 σ はブリュームモデルでの鉛直方向拡散幅に相当するもので、道路構造や沿道構造により変

化するため、拡散モデル、風洞実験、および自動車排出ガス測定局の常時監視結果をもとに、道路端での σ の値が1～10mの範囲で確率分布するものとした。また、ブリューム式で用いられる拡散幅の線図等をもとに、 σ が道路からの距離の0.8乗に比例するものとし、濃度の距離減衰を算出した。

こうしてNOx年平均濃度を予測した後、環境基準との対比を行うためにこれをNO₂の98%値に換算した。これには一般環境大気測定局、自動車排出ガス測定局におけるNOx年平均値とNO₂の98%値の関係についての単回帰モデルを用いた。

濃度分布から曝露人口分布を求める際には、総務庁による1kmメッシュの人口データを用い、メッシュ内の人口密度が道路との位置関係によらず一定であると仮定した。ここでは、濃度分布予測モデルや交通量予測モデルの精度とのバランスから適用しなかったが、既報¹⁾で開発された沿道土地利用解析システムを応用すれば、沿道の人口分布をより正確に反映させることができよう。

4. 施策効果分析のケーススタディ

RTPSSを用いて、交通公害対策に関する代替案の環境改善効果を試算した。比較対象とする現状①は1990年の状況であり、代替案は1990年の交通量

を基準として、モーダルシフト、車種変化、道路網整備等の対策を実施するものである。代替案として、汚染物質排出の多くを占める貨物輸送に関して、②大口の通過貨物輸送を全量鉄道輸送に置換、③首都圏と他地域とを結ぶ大口の貨物輸送を全量鉄道輸送に置換、することをまず検討した。置換の対象は普通貨物車のみとした。これらの代替案を担保するための鉄道貨物輸送技術については、別途具体的な提案がなされている^{(6)・(7)}。さらに、低公害車導入の効果をみるため、④域内相互発着の乗用車トリップのうち20%を電気自動車で置換する。これはタクシーを想定したものである。なお、これらケース②～④は電力需要を増加させ、一部は火力発電所でのNOx排出増加につながることも考えられるが、ここではこれによる副次的影響は計算していない。

また、道路整備の効果をみるために、⑤2010年までの供用が計画されている路線が全て供用されたケースを評価した。さらに、これらを同時に実行する

場合の効果について、⑥=②+③、⑦=②+③+④、⑧=②+③+④+⑤のケーススタディを実施した。代替案の効果を評価する指標としては、交通量に関する指標と環境に関する指標を用いている。これら8ケースについての試算結果を表1及び図4に示す。

長距離の普通貨物車を鉄道に置換することにより、対象地域のNOx排出量は、通過トリップを置換するケース②で約5%、内外トリップを置換するケース③で約10%、現状に比べて削減され、高濃度への曝露人口もこれと連動して減少している。ケース④の乗用車の電気自動車への一部置換によるNOx削減量は2%程度である。ケース⑤の道路整備では、NOx排出量の減少はわずかであるが、高濃度での曝露人口は大幅に減少する。これは、現在、人口密集地の幹線道路を通過している交通が、一般環境濃度が低く、人口の相対的に少ない地域に新たに整備される道路へ移行することによる。

対策の組み合わせを行ったケースでは、効果は必ず

表1 8種の対策シナリオごとの環境改善効果の比較

	シミュレーション対象地域全域での状況				東京23区内を対象とした評価				
	走行量 (百万台キロ/日)		NOx排出量 (トン/日)		NO ₂ 環境基準超過人口 (万人)	環境基準を10ppb以上超過する人口 (万人)	人口加重平均NO ₂ 98%値 (ppb)		
	全車種	対現状増減率	普通貨物車	対現状増減率					
①基準ケース (現状)	55.3	...	5.3	...	78.9	...	66.2	...	...
②通過普通貨物の鉄道転換	54.3	-1.7%	4.2	-21.9%	76.2	-3.4%	65.4	-1.3%	...
③内外普通貨物の鉄道転換	53.6	-3.1%	3.5	-33.9%	73.5	-6.8%	65.0	-1.8%	...
④乗用車の20%をEV転換	55.3	0	5.3	0	78.2	-0.8%	65.8	-0.7%	...
⑤2010年レベル道路網整備	54.7	-1.1%	5.2	-2.7%	75.5	-4.2%	65.2	-1.5%	...
⑥②+③	52.6	-4.8%	2.3	-56.4%	68.0	-13.7%	64.2	-3.1%	...
⑦②+③+④	52.6	-4.8%	2.3	-56.4%	64.5	-18.2%	63.7	-3.8%	...
⑧②+③+④+⑤	52.1	-5.7%	2.3	-56.6%	60.8	-22.8%	63.0	-4.8%	...

走行量

NOx排出量

NO₂濃度ランク別人口

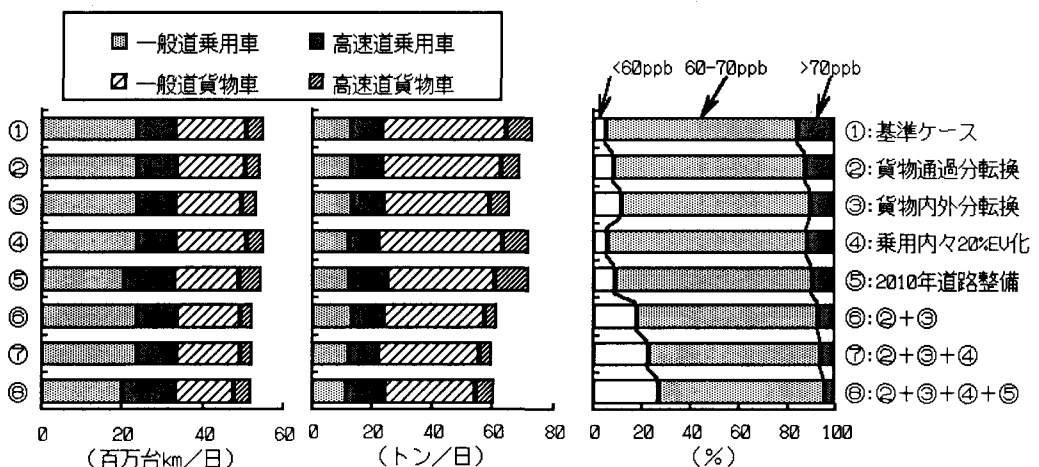


図4 8種の対策シナリオごとの走行量、NOx排出量、NO₂曝露人口の比較

しも各個別対策の効果の単純和とはならない。たとえば、ケース⑦に道路整備を加えたケース⑧ではケース⑦より排出量がむしろ多くなる結果となっている。道路整備は走行速度を向上させるが、低速時に排出量の多くなる普通貨物車のトリップの大部分が既に鉄道に置換されているために大きな効果がなく、高速時に排出量の増加する乗用車による影響が勝るためと解釈される。交通量配分シミュレーションでの速度の予測精度が十分でないことには注意を要するが、定性的な傾向は説明されているといえよう。

これらの試算結果から、鉄道輸送への転換は自動車走行量の変化は少なくとも、環境面では大きな効果があること、道路整備を行う場合はその副次的効果を考慮する必要があること、などが示された。

5. 結論と今後の課題

交通量予測モデルと環境影響予測モデルを組み合わせて、広域都市圏レベルでの道路交通公害対策の効果予測シミュレーションを行うシステムを開発し、首都圏を対象にいくつかの対策の効果の試算を行った。その結果、汚染物質排出量にとどまらず、汚染濃度分布および汚染への曝露人口というより高度な指標を効果の評価に適用したこと、および走行モードによる環境負荷発生の変化を予測に取り入れたことにより、施策の実施による状況変化をきめ細かにシミュレートできることが示された。計算に用いたOD表が独自推計によるものであること等のため、計算結果の精度には問題点が残るが、施策の効果分析の具体的方法論を示し、これを支援する実用的な情報システムを構築することができたと言える。

今後は、OD表等の交通量予測に用いるデータの改善、システムの全機能のワークステーションへの移植を進め、より完成度の高いシステムを目指すとともに、過去からの道路網およびOD交通量の変化とNO₂濃度の変化の実績値を用いて、モデル全体としての信頼性の検証を行うことが必要と考えられる。

本研究の成果を実地に応用すれば、従来は事業実施段階に地区レベルでのみなされていた道路整備の環境アセスメントを、事業が広域に及ぼす影響をも評価することが可能になり、逆に広域交通計画が地区の環境に及ぼす影響も計画段階で早期に予測でき、いわゆる計画アセスメントの実施可能性を高めるも

のとなろう。また、今回とりあげたNO_x問題に加え、騒音などの他の公害項目、さらにはエネルギー消費や温室効果ガス排出など地球環境に関する項目を評価対象に加え、より幅広い視点から環境影響の少ない交通体系を築くための施策効果分析手法へ発展させることも必要と考えられる。

〔謝辞〕 本研究は、文部省科学研究費重点領域研究「人間－環境系」N33-01班（中村英夫代表）およびN37-B02班（黒川洸代表）における延べ6年間の成果を中心とするものである。また、情報システムの開発に当たっては、伊東大厚、鹿島勲、田中宏、間博之の各氏ら富士通エフ・アイ・ピー株式会社の関係諸氏の多大な協力を得た。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 森口祐一・西岡秀三：道路交通公害の広域的評価のための指標と支援情報システム，土木計画学研究・論文集，No. 7，pp. 67～74，1989年。
- 2) Seetharam, K. E.・柴崎亮介・中村英夫：Integration of Geographical Information and Expert Systems for EIA in Urban Transportation Planning，土木計画学研究・論文集，No. 8，pp. 281～288，1990年。
- 3) 森地茂・兵藤哲朗・岡本直久：観光地の道路ネットワークに係わる環境影響分析，文部省「人間環境系」重点領域研究報告集，G056-N30B，pp. 64～65，1992年。
- 4) 黒川洸：広域交通幹線整備と多核分散型都市構造政策が広域都市圏の交通環境に及ぼす影響，文部省「人間環境系」重点領域研究報告集，G071-N30B，pp. 53～54，1993年。
- 5) 森口祐一：発生源－環境中存在量－人間曝露系サブモデルの構築，文部省「人間環境系」重点領域研究報告集，G082-N38B-01，pp. 135～149，1993年。
- 6) 清水浩・森口祐一・内藤正明・曾根悟：首都圏物流対策としてのピギーバック鉄道輸送法活用の提案，電気学会交通・電気鉄道研究会，TER-89-10，1989年。
- 7) 清水 浩・森口祐一・田村正行・曾根 悟：長距離トラック輸送の鉄道への代替技術（ランドフェリー）の検討，土木学会論文集投稿中。