

マイクロシミュレーションを活用した交通と大気環境の広域評価システム

Traffic-related Air Environmental Evaluation System
for Wide-area Network using Microscopic Simulation

屋井研究室 01M30225 白濱 好文 (Shirahama Yoshifumi)

Keywords: 広域道路ネットワーク, マイクロシミュレーション, 浮遊粒子状物質, OD交通量
Wide-area network, microscopic simulation, SPM, Origin-Destination flow

1. はじめに

首都圏において、NO_x や SPM (浮遊粒子状物質) は、いまだ環境基準の達成率が低い状態にあり、交通渋滞・環境への対策をいかに進めていくかが、引き続き重要な課題である。特に、大気中に浮遊する SPM は、発生場所と影響を受ける場所とが必ずしも一致しない特性を持っており、その移動距離は 1~数 10km と言われている。また、走行車両から排出される SPM は、速度、加速度、車種、車齢、燃料タイプ、道路勾配によってその量が激しく変動するため、車種の相違、走行速度変化・加速度変化等の走行状況の相違、勾配等地形の影響の相違を詳細に考慮した分析が必要となる。

このような分析を行うためには、道路環境・運転状況を詳細に表現可能な交通マイクロシミュレーション、及び、気温、風向き、大気境界層等の気象状況を詳細に表現可能な高解像度の気象シミュレーションを統合的に用いることが有効であると思われる。

そこで本研究では、環境改善に資する各種交通政策の分析が可能な交通・大気環境シミュレーションシステムの構築を目的として、交通流側、環境計測側両方の再現性の向上を図る。さらに、排出量推計モデルによって得られた出力結果を気象モデルの入力データとして PM 拡散濃度を出力し、大気汚染物質の排出とそれが移流拡散した後の結果とで、どのような差異が生じているのかを地域毎に把握する。

2. 既往研究と本研究の位置付け

堀口・小根山 (第 37 回土木計画学シンポジウム論文集, 2001) は、道路ネットワークシミュレーション

モデルの利用実態を分析し、都市レベルでの広域を対象とした分析例が少なく、特に、一般道と高速道路を組み合わせ合わせた統合ネットワークでの適用事例が無いことを指摘した。一方、交通環境に関する研究では、車両をマクロ的に扱う分析が多く、車両を個々に表現するミクロレベルになると、対象地域も局所的になっている。

本研究は、交通状況をミクロレベルで表現し；加速度を考慮した排出量の算定を行い；統合型広域ネットワークを対象とし；大気汚染物質の移流拡散を考慮した面的な分析を行う；という点において新規性を有している。

3. 東京南部・川崎・横浜地域を対象とした 広域ネットワークデータの構築

(1) ネットワークデータの作成

東京南部・川崎・横浜地域の道路ネットワークを構築する。元となるネットワークは後藤他 (第 22 回交通工学研究発表会論文報告集, 2002) による。本研究では、以下の各項目について精緻化を図った。

ネットワーク範囲の拡大と道路構造の修正

分断されていた高速道路のネットワークを繋げ、迂回交通を再現するようにした。道路構造は、車線数や右左折ポケットレーン、高速ランプ、スリップレーン、高速道路の料金所を再現し、ネットワークデータ上の設定による現実との乖離を小さくした。

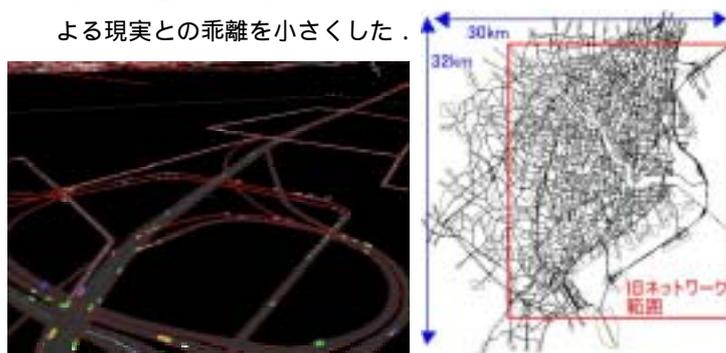


図1 シミュレーション画面 (大黒 jct) 図2 道路ネットワーク図

信号データの設定

対象とするネットワーク内には約 3,000 箇所の信号が設置されており、信号サイクル長の全てを現地で観測し、現状のシステムに入力することは困難である。そこで、神奈川県警、警視庁から提供頂いた約 3,000 箇所の信号データのうち、1,500 箇所までを入力した。

外部ODゾーンの設定

対象地域外部からの流入交通は、対象地域外部に接続する幹線道路から出現するように設定した。また、外部 OD 交通量は、関東圏を対象とした分割配分結果を用い、それぞれの幹線道路に与えている。この結果、OD ゾーン数は従来の 64 から 122 ゾーンへと細分化された。

センサデータを活用した時間帯別 OD 表の作成

24 時間単位の対象地域 OD 交通量を 1 時間毎の交通量に分配するために、平成 11 年道路交通センサデータを用いて、時間帯別車種別 OD 交通量への変換を試みた。具体的には、センサデータより発着ゾーン、発着時間、車種の情報を取得し、OD ペア毎の時間帯別交通量シェアを算出するプログラムを構築した。

(2) マイクロシミュレーションの問題点と対応策

ネズミ走行の防止

ネットワークに細街路等を含めると、各車両が選択可能な経路が増える反面、隣接する細街路や駅前のロータリーに出入りする車両が発生してしまうという問題が生じる。これは、リンクコストに右左折コストを導入していないことや、経路に幅を持たせるためのアルゴリズムを組み込んでいるために生じる現象で、ネズミ走行と呼ばれる。本研究では、ネットワークデータの作成段階において、細街路の 1 リンクあたりに 1.5 分のリンクコストを与え、ネズミ走行が激しい箇所について右左折禁止にするといった対処を施すことで、その防止を図った。

4. 常時観測交通量を活用した OD 交通量の修正と

現況再現性の検証

(1) OD 交通量の修正方法

現実の交通状況は必ずしも均衡状態ではないが、その仮定のもとで対象地域用に OD 交通量を算出した点や、道路交通センサデータだけでは、時間スケールの短い分析用データが不足していた点で、再現性の高い交通状況をしかも時間帯ごとに表現することは困難である。

そこで、神奈川県警、警視庁から提供頂いた常時観測

交通量データを用いて、時間変化する OD 交通量をオフラインで修正し、再現性の高いネットワークデータを構築する方法を開発する(図3)。

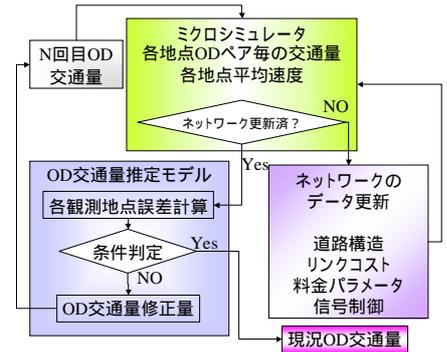


図3 OD修正と現況再現性向上方法の概要

まず、マイクロシミュレーションのネットワークデータ上で、実際の常時観測地点と同じ場所に感知器を 270 箇所設置し、時間帯毎に交通量や速度のシミュレーション値を算出する。この算出値の現況再現性が高くなるよう、算出値と実測値との乖離が大きい箇所を中心に、リンクコストや入力データのエラーを手作業で修正し、シミュレーションを繰り返し実施する。リンクコストを修正後、交通量のシミュレーション値と実測値とが一致するように、次に述べる OD 修正モデルを適用する。そして、修正後の OD 交通量で再度シミュレーションし、再度リンクコストを更新していくという作業を戦略的に繰り返すことにより、現況再現性を向上させる。

本研究では、OD 修正モデルとして残差平方和最小化法と増減目標設定モデルの 2 種類のモデルの構築を試みたが、前者の計算時間は約 5 時間と実用的ではない。また、観測地点の設置の仕方により、解を求めることができない場合も生じるため、後者のモデルを適用した。

(2) 増減目標設定 OD 修正モデル

観測データと計算データの残差を用いて OD 修正目標量を算出するモデルを提案する。観測リンクにおける交通量の計算値が実測値と残差がある場合、残差が減少する方向にそのリンクを通過する OD ペア交通量を修正する。各観測点の残差分を各観測点を通過した OD ペアの通過交通量で重み付けした値が、その OD ペアが修正する増減目標値だと仮定すると、以下のように表される。

$$dQ_{kw} = S_{kw} \cdot dQ_k \cdots (1)$$

Q_{kw} : 観測点 k を通過する OD ペア交通量

S_{kw} : 観測点 k を通過した OD ペアのシェア

w: OD ペア k: 観測点

式(1)に基づき、ある OD ペアが複数の観測地点を通過する場合において、Q-K 特性が渋滞領域だと見なされる場合、これは渋滞状況を表現しているため、各 OD ペアの増減目標を算出するよう、式(2)による修正を行う。

$$dQ_w = \frac{\omega_w \sum_k T_{kw} \delta_{kw} dQ_{kw}}{\sum_k \psi_{kw}} \dots (2)$$

T_{kw} : ODペアwがk通過したすべての観測点におけるk観測点の交通量の割合
 δ_k : k観測点での渋滞ダミー
 $\delta_k = -0.5$: k観測点での計算交通量が渋滞している
 $\delta_k = 1$: k観測点での計算交通量が渋滞していない
 ψ_{kw} : k観測点でのODペアw通過ダミー
 $\psi_{kw} = 1$: ODペアwがk観測点を通じた場合
 $\psi_{kw} = 0$: ODペアwがk観測点を通じない場合
 ω_w : ODペアwにおける渋滞詰まり
 $\omega_w = 1$: ODペアwで渋滞詰まりが存在しない場合
 $\omega_w = -1$: ODペアwで渋滞詰まりが存在してdQ_kが正になる場合
 dQ_k : ODペアwの増減目標値(未知)

ダミー変数 δ_k を用いることにより、観測点 k において渋滞領域である場合、交通量が -0.5 倍される構造となっているが、これは、Q-K 特性を考慮した OD 修正法である。また、ダミー変数 ω_k を用いることにより、OD ペア w 間の経路上に渋滞詰まりが存在する場合、負の目標値に強制的に交通量を修正することで、渋滞詰まり地点の更なる需要増を回避している。

(4) OD 修正結果と現況再現性の検証

OD 修正とネットワークデータの更新を行った結果を表 1 に示す。初期 OD データを入力した際の断面交通量の相関係数は全体的に低く、現状の交通流を表現しているとは言い難い結果となっている。特に早朝深夜帯の相関係数が非常に低く、計算交通量も全体的に観測交通量より低い値を示している。しかし、1 回の OD 修正で相関係数、RMSE とともに大幅に改善が見られ、式(2)のような簡便な修正モデルでも大幅な改善が見られることが分かった。但し、2 回目以降の修正では、改善幅は微小になっており、特に、交通量が多い 8 時~10 時帯の相関係数がほとんど変化していない。このことから、式(2)のモデルは、交通量が飽和している時間帯の OD 修正に適したモデルとは必ずしも言い難く、更なる改良が必要である。以降は、3 回の修正を完了した時点の OD を、現況の交通量と見なして分析を行う。

表 1 OD 修正回数と相関係数の変化

修正回数	普通車断面交通量		普通車断面交通量		普通車断面交通量		普通車断面交通量		貨物車断面交通量		貨物車断面交通量		貨物車断面交通量		貨物車断面交通量	
	0回目	1回目	2回目	3回目												
0時	0.43	292	0.72	191	0.82	150	0.88	131	0.48	32	0.75	54	0.84	47	0.82	41
1時	0.39	266	0.74	150	0.82	109	0.85	93	0.39	91	0.66	56	0.79	43	0.81	38
2時	0.38	229	0.75	129	0.82	93	0.84	81	0.37	79	0.67	49	0.76	38	0.83	32
3時	0.30	208	0.70	120	0.78	92	0.81	77	0.53	56	0.65	38	0.75	30	0.77	31
4時	0.40	216	0.75	126	0.80	99	0.83	84	0.53	82	0.68	44	0.75	34	0.79	33
5時	0.48	319	0.84	200	0.85	157	0.86	120	0.57	147	0.72	70	0.74	59	0.84	47
6時	0.48	540	0.76	369	0.82	296	0.85	264	0.63	210	0.74	119	0.79	92	0.79	79
7時	0.51	498	0.72	360	0.78	285	0.79	285	0.65	196	0.71	145	0.75	111	0.76	101
8時	0.51	401	0.65	316	0.67	302	0.73	268	0.62	218	0.64	172	0.65	142	0.70	119
9時	0.46	457	0.63	341	0.68	316	0.74	256	0.62	185	0.66	109	0.66	98	0.71	90
10時	0.53	415	0.66	326	0.62	317	0.70	289	0.68	215	0.66	147	0.61	124	0.66	114
11時	0.48	408	0.57	362	0.72	279	0.76	247	0.60	247	0.65	160	0.73	129	0.73	104
12時	0.49	408	0.64	336	0.73	262	0.80	227	0.65	200	0.66	119	0.73	101	0.74	83
13時	0.50	438	0.67	334	0.72	290	0.78	259	0.64	205	0.67	136	0.70	114	0.74	102
14時	0.53	468	0.70	362	0.75	319	0.80	290	0.64	184	0.66	128	0.72	108	0.76	86
15時	0.53	474	0.55	345	0.70	356	0.77	306	0.60	179	0.54	106	0.65	101	0.73	90
16時	0.51	519	0.71	397	0.75	366	0.76	344	0.58	166	0.63	124	0.68	110	0.72	99
17時	0.53	525	0.67	446	0.73	404	0.75	384	0.60	172	0.60	133	0.73	110	0.69	110
18時	0.47	499	0.63	419	0.70	371	0.75	358	0.54	154	0.54	119	0.70	115	0.67	106
19時	0.53	439	0.72	362	0.73	326	0.78	308	0.54	150	0.65	110	0.73	109	0.68	93
20時	0.60	305	0.72	240	0.75	249	0.80	208	0.56	129	0.66	98	0.72	77	0.73	75
21時	0.56	313	0.74	231	0.75	190	0.80	190	0.60	90	0.72	72	0.72	61	0.63	65
22時	0.56	309	0.73	206	0.79	186	0.82	172	0.57	98	0.74	66	0.76	63	0.80	62
23時	0.49	294	0.75	177	0.80	157	0.82	141	0.49	107	0.74	61	0.77	61	0.81	54

5. 詳細な車両挙動を考慮した

交通環境マイクロシミュレーションの構築

本章では、個々の車両の詳細な走行状況を PM 排出量に反映させる瞬間排出係数を算出する。構築したネットワークには、信号交差点や急勾配地点を多数含んでいるため、これらの特性を表現可能な瞬間排出係数を用いることにより、地域特有の走行状況を排出量に反映させることができると考える。

(1) 速度・加速度・勾配とPM排出量の回帰分析

使用したデータは、計量計画研究所が 2002 年 10 月 2 日の東名高速道路横浜青葉 IC ルートにて行った車載型計測装置走行調査データのうちのランダムサンプリングした 2,000 データである。このデータに、Lee and Miller(2001)が提案している CO₂ 排出原単位算定式を参考にして、速度の 3 乗式と勾配ダミー項を加えた式(3)を用いて PM 排出量モデルを定式化した。

$$\ln(E_{PM}(t)) = -2.0856 + 0.0495v(t) - 0.0007v(t)^2 + 0.000005v(t)^3 + 0.1161a(t) - 0.04652D_d(t) + 0.07086D_i(t) - 0.18793D_{-2.5}(t) - 0.0391D_{-2.5-0.5}(t) + 0.1332D_{0.5-2.5}(t) + 0.40072D_{2.5-}(t) \dots (3)$$

$E_{PM}(t)$: t時におけるPM瞬間排出係数(g/min)
 $v(t), a(t)$: t時における速度(km/h), 加速度(km/h/s)
 $D_d(t), D_i(t)$: 減速時, アイドリング時のダミー変数(1or0)
 $D_{-2.5}(t)$: 勾配が -2.5%以下のときのダミー変数(1or0)
 $D_{-2.5-0.5}(t)$: 勾配が -2.5 ~ -0.5%のときのダミー変数(1or0)
 $D_{0.5-2.5}(t)$: 勾配が 0.5 ~ 2.5%のときのダミー変数(1or0)
 $D_{2.5-}(t)$: 勾配が 2.5%以上のときのダミー変数(1or0)

各係数値はその重回帰結果、また、括弧内はその t 値を表している。重決定係数は 0.89, RMSE は 0.2g/min となり、精度の高いモデルが得られた。

(2) 瞬間排出係数の妥当性検証

このモデルの予測 PM 排出量と実走行調査での観測 PM 排出量とを比較すると、突発的に排出量が高いところでは、予測 PM 排出量値が過少推計になっていることが分かる。このような予測値は、高加速で走行している時に高頻度で出現しており、急加速時の再現性は低い。また、速度、加速度と排出量の関係を示すグラフ(図4)を見ると、100km/h 超の高速走行時に加速を行った場合、排出量が著しく大きくなってしまいう状況が見取れる。一方、走行調査データとして、高速度・高加速度時のものは実際には測定されていない。そのため、この領域での非現実的な排出量が算出されることを回避するために

以下の設定を行った。

まず、交通流側では、車両が極力そのような走行をしないようにネットワークデータを再構築した。次に、環境計測側では、排出量の最大値を設けることにより、瞬間排出係数の推定限界内での算出が行われるように定式化した。以降の分析には、この修正モデルを用いて排出量を推計する。

6. 移流拡散を考慮した交通大気環境分析

これまでに構築した東京南部・川崎・横浜地域の広域交通環境マイクロシミュレーションを用いて、交通流とPM汚染状況の分析を行った。

(1) PM移流拡散濃度とPM排出量の差異

大気汚染物質の排出とそれが移流拡散した後の結果とで、どのような差異が生じているかを地域毎に把握することを試みた。比較は、メッシュ上に集計される双方を、それぞれの平均値と標準偏差を用いて基準化した値の差を指標とした。その結果、例えば15時の状況(図5)では、幹線道路の排出量が拡散濃度よりも卓越し、一方、大田区や鶴見区等の細街路では、拡散濃度が排出量に比べて卓越している箇所が多数見られる。すなわち、排出量が大きい場所が濃度も大きくなるとは一概に言い切れず、気象場の影響によっては、排出量が相対的に少ない箇所においても、大気汚染物質が移流拡散することにより、濃度が高くなってしまふことがあると言える。

(2) 交通政策導入効果分析

ITSに着目した交通政策として、情報提供政策と料金政策についてシミュレーションで再現し、複数種類の政策分析を試みた。紙面の都合上、情報提供効果分析結果(細街路への誘導効果分析)のみを掲載する。

まず、ドライバーに細街路への情報提供を与えたときの状況を表現するために、細街路に与えていた1リンク

0.00-1.00 1.00-2.00 2.00-3.00 3.00-4.00 4.00-5.00 5.00-6.00

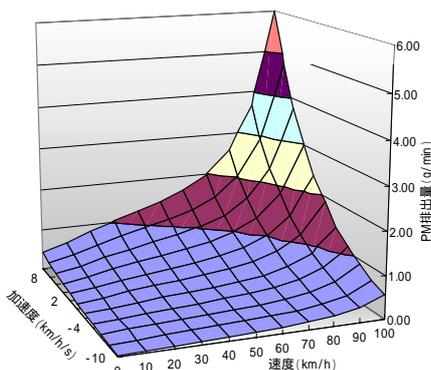


図4 勾配が0%のときの排出係数の推定値

あたり1.5分のコストを0に減少させ、細街路への経路転換を促すような設定を行った。

道路種別ごとに交通の

変化を比べると、細街路の交通密度が全時間帯で増加しており、一方、一般道路の交通密度が最大で2割ほど減少する結果となった。

また、PM排出量は、ネットワーク全体で-7%の削減が見られた。但し、細街路部ではPM排出量が顕著に増加し、一般

道路では、ほとんどの時間帯でPM排出量が削減している(図6)。朝など、非常に交通量が多い時間帯では、細街路でのPM排出量が著しく増加し、ネットワーク全体でも正の効果を得られない状況も生じている。しかし、昼においては、PM排出量削減効果は高い。特に、夕方時間帯では、細街路の排出量も削減している結果となっている。但しこの結果は、細街路に誘導することによる事故の増加の可能性を考慮していない点や、もともと細街路の交通量の精度が良くない点から、いくらか過大なPM削減評価をしていると解釈する必要がある。

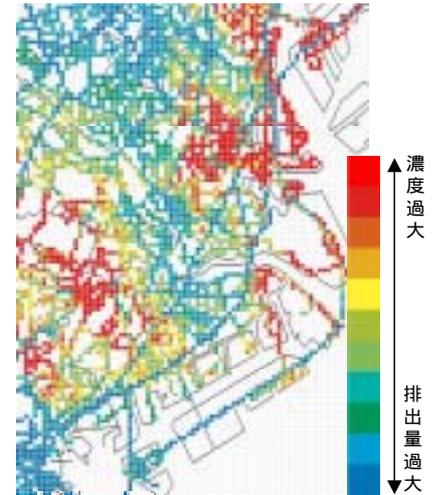


図5 15時のPM濃度と排出量の差異

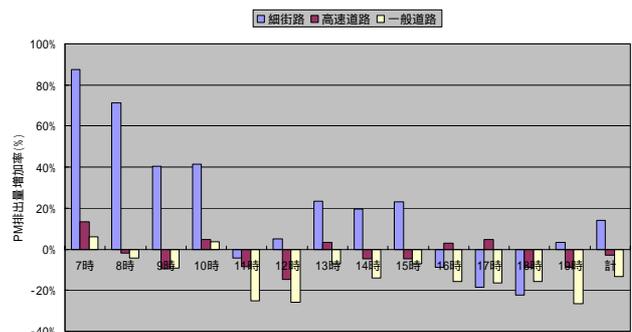


図6 細街路誘導政策によるPM量の変化

7. まとめ

本研究では、交通と気象を統合したシミュレーションを構築し、交通と環境の相互的な分析を行った。特に、4章で構築した交通シミュレーションモデルの現況再現性を向上させたこと、5章で再現性の高い瞬間排出係数を算出したこと、6章でPM排出量と移流拡散濃度に差異が生じていることを示したことが、主な成果であると考えられる。