

環境負荷計測のための微視的道路交通シミュレーションモデルの開発*

Development of the Road Traffic Simulation Model for Analysis of Environmental Pollution*

井ノ口 弘昭**・河上 省吾***

By Hiroaki INOKUCHI**・Shogo KAWAKAMI***

1. 序論

(1) 研究の背景

モータリゼーションの進行やライフスタイルの変化に伴い、わが国の都市交通における自動車の役割は大きなものとなった。しかし、自動車は便利で快適な生活をもたらす一方で、騒音、振動といった公害を生じさせるとともに、様々な有害物質を排出し、大気環境に多くの負荷を与えている。

わが国の、幹線道路の大気質に関する沿道状況は、大都市を中心としてその環境基準の達成率が非常に厳しい状況にある。特に、浮遊粒子状物質（SPM）、二酸化窒素（NO₂）については、環境基準の達成率が低く、自動車 NO_x 法（自動車から排出される窒素化合物の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法）により指定された首都圏および大阪兵庫圏の 196 市区町村ばかりでなく、全国的にも深刻な問題となっている。また近年、尼崎訴訟をはじめとして、自動車から排出される大気汚染と健康被害の因果関係が道路環境訴訟として提訴され、沿道環境に対する沿道環境改善のための取り組みが注目されてきている。

(2) 研究の目的

本研究では、NO_x 測定装置を用いて自動車からの排出ガスに含まれる NO_x を直接計測し、自動車の実走行状態と NO_x の排出特性および燃料消費量の関係について分析を行っていく。さらに、分析結果を道路交通シミュレーションに組み込むことにより、交差点の幾何構造の変更・信号現示の変更などの交通対策を行った場合の NO_x 排出量等を予測することが出来るシステムを構築することを目的とする。

*キーワード：交通公害測量，交通計画評価

**正員，博士(工学)，関西大学工学部都市環境工学科
(大阪府吹田市山手町 3-3-35，TEL/FAX 06-6368-0964，
E-mail hiroaki@inokuchi.jp)

***フェロー，工博，関西大学工学部都市環境工学科
(大阪府吹田市山手町 3-3-35，TEL/FAX 06-6368-0783，
E-mail kawaka@ipcku.kansai-u.ac.jp)

2. 走行調査

(1) NO_x 測定装置

本研究では、堀場製作所製の HIT-NO_x を用いた。これは、速度・エンジン回転数などを記録するデジタルタコグラフに NO_x データの収集機能を加えた装置である。NO_x センサは厚膜ジルコニアセンサを用いて、マフラー出口に取り付けている。NO_x センサの取り付け状況を写真-1 に示す。



写真-1 NO_x センサ取付状況

(2) 走行ルート

走行ルートは、関西大学を出発し、一般道路、阪神高速道路(守口～武庫川)、名神高速道路(西宮～吹田)を通過するように設定した。一般道路のうち市道は 13.2km、府道 24.0km、国道 49.1km であり、阪神高速道路 42.0km、名神高速道路 21.7km を合わせて走行距離は 150km である。

(3) 本研究で用いる車種

沿道における大気中の NO₂、SPM についてはディーゼル車から排出される窒素酸化物、粒子状物質の寄与が高く、それらの排出抑制が重要な課題となっている。従って、本研究ではディーゼル車 4 台を測定車両とした。各車両の概要を表-1 に示す。

表-1 測定車両の概要

車両 No.	エンジン型式 (種別)	排ガス規制適合年	総排気量 (cc)	最大積載量 (kg)	車両重量 (kg)	車両総重量(kg)
1	KR-NKR81EA (小型貨物車)	平成 15 年	4770	2000	2320	4485
2	KH-KZH106W (普通乗用車)	平成 10 年	2980		2090	2530
3	KC-FB4JEAT (普通貨物車)	平成 6 年	5300	3500	2810	6475
4	KC-FE507BT (小型貨物車)	平成 6 年	4210	2000	2090	4255

(4) 走行調査日程

走行調査日程を、表-2 に示す。積載貨物は、鋼製山留部材等を用いた。積載状況の写真を写真-2 に示す。

表-2 走行調査日程

車両 No.	調査日程	貨物積載量
1	平成 15 年 8 月 20 日 (水)	0
	平成 15 年 8 月 21 日 (木)	1.0t(半載)
	平成 15 年 8 月 22 日 (金)	2.0t(全載)
	平成 15 年 8 月 25 日 (月)	2.0t(全載)
	平成 15 年 8 月 26 日 (火)	1.0t(半載)
	平成 15 年 8 月 27 日 (水)	0
2	平成 15 年 9 月 30 日 (火)	0
	平成 15 年 10 月 4 日 (土)	0.2t(半載)
	平成 15 年 10 月 6 日 (月)	0.4t(全載)
3	平成 15 年 10 月 28 日 (火)	0
	平成 15 年 10 月 30 日 (木)	1.75t(半載)
	平成 15 年 11 月 1 日 (土)	3.5t(全載)
4	平成 15 年 12 月 2 日 (火)	0
	平成 15 年 12 月 4 日 (木)	1.0t(半載)
	平成 15 年 12 月 8 日 (月)	2.0t(全載)



写真-2 貨物の積載状況

3. NOx 排出量推計モデルの作成

NOx の排出は加速度・エンジン回転数の影響を大きく受けると考えられる。しかしながら、本研究では微視的道路交通シミュレーションモデルへの適用を目指しており、適用の際にエンジン回転数を求めるためには、さらにモデルが必要となる。従って、本研究では説明変数に走行速度 $v(km/h)$ 、加速度 $\alpha_{ac}(m/s^2)$ 、減速度 $\alpha_{de}(m/s^2)$ を用いた。ここで、 α_{ac} 、 α_{de} は次のように定義される。

$$\alpha_{ac} = \begin{cases} \{v(t) - v(t - \Delta t)\} / \Delta t & \text{if } \{v(t) - v(t - \Delta t)\} / \Delta t > 0.2(m/s^2) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\alpha_{de} = \begin{cases} -1 \times \{v(t) - v(t - \Delta t)\} / \Delta t & \text{if } \{v(t) - v(t - \Delta t)\} / \Delta t < -0.2(m/s^2) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

また、NOx はマフラー出口付近で濃度を計測しているため、時間遅れが約 1.5 秒生じている。そのため、NOx 排出量は時間遅れの補正を行った。

NOx 排出量 $D_{NOX}(mg/s)$ の推計モデルは、

$$D_{NOX} = p_{11} \times v^{p_{12}} + p_{21} \times \alpha_{ac}^{p_{22}} + p_{31} \times \alpha_{de}^{p_{32}} + p_0$$

ここで、 \mathbf{p} はパラメータ

とした。本研究で構築するモデルは、タイムスキニング方式の微視的道路交通シミュレーションモデルへの適用を目指しているため、NOx 排出量も時刻ベースの推計モデルとした。紙面の制約等から車両 No.1,3 のみのパラメータ推計結果を表-3,4 に示す。

4. 燃料消費量推計モデルの作成

燃料消費量推計モデルについても 3 章で構築した NOx 排出量推計モデルと同じ説明変数を用いた。燃料消費量 $D_{FUEL}(cc/s)$ の推計モデルは、

$$D_{FUEL} = p_{11} \times v^{p_{12}} + p_{21} \times \alpha_{ac}^{p_{22}} + p_{31} \times \alpha_{de}^{p_{32}} + p_0$$

表-3 NOx 排出量推計モデルパラメータ推計結果
(車両 No.1)

積載条件	空	半載	全載
p_{11}	0.0383 (0.0076)	0.0107 (0.0024)	0.0197 (0.0045)
p_{12}	1.334 (0.045)	1.666 (0.051)	1.553 (0.052)
p_{21}	19.38 (0.17)	24.98 (0.19)	33.15 (0.24)
p_{22}	1.342 (0.013)	0.891 (0.007)	1.121 (0.011)
p_{31}	-5.100 (0.164)	-3.826 (0.203)	-7.094 (0.259)
p_{32}	0.725 (0.046)	0.844 (0.078)	0.539 (0.047)
p_0	8.483 (0.167)	7.137 (0.170)	10.28 (0.23)
R^2	0.373	0.323	0.355

()内は標準偏差

表-5 燃料消費量推計モデルパラメータ推計結果
(車両 No.1)

積載条件	空	半載	全載
p_{11}	0.0329 (0.0023)	0.0124 (0.0010)	0.0127 (0.0010)
p_{12}	0.930 (0.015)	1.153 (0.018)	1.160 (0.018)
p_{21}	0.640 (0.009)	0.900 (0.010)	1.192 (0.011)
p_{22}	0.936 (0.020)	0.789 (0.011)	0.980 (0.014)
p_{31}	-0.375 (0.010)	-0.414 (0.011)	-0.467 (0.012)
p_{32}	0.808 (0.038)	0.782 (0.037)	0.594 (0.034)
p_0	0.325 (0.013)	0.452 (0.011)	0.461 (0.013)
R^2	0.405	0.394	0.403

()内は標準偏差

表-4 NOx 排出量推計モデルパラメータ推計結果
(車両 No.3)

積載条件	空	半載	全載
p_{11}	-	-	-
p_{12}	-	-	-
p_{21}	12.990 (0.188)	18.795 (0.271)	21.590 (0.269)
p_{22}	1.109 (0.020)	1.130 (0.022)	1.215 (0.021)
p_{31}	-7.978 (0.189)	-9.497 (0.265)	-11.264 (0.264)
p_{32}	0.793 (0.034)	0.749 (0.037)	0.726 (0.032)
p_0	16.424 (0.097)	18.610 (0.138)	20.502 (0.135)
R^2	0.235	0.238	0.251

()内は標準偏差

表-6 燃料消費量推計モデルパラメータ推計結果
(車両 No.3)

積載条件	空	半載	全載
p_{11}	-	0.0004 (0.0001)	-
p_{12}	-	1.916 (0.032)	-
p_{21}	0.6710 (0.0107)	1.2085 (0.0138)	1.3585 (0.0163)
p_{22}	0.893 (0.022)	0.978 (0.017)	1.025 (0.019)
p_{31}	-0.5050 (0.0112)	-0.3348 (0.0140)	-0.7111 (0.0163)
p_{32}	0.948 (0.033)	0.605 (0.053)	0.772 (0.032)
p_0	0.8339 (0.0058)	0.3724 (0.0115)	1.0101 (0.0084)
R^2	0.203	0.396	0.255

()内は標準偏差

ここで、 \mathbf{p} はパラメータ

とした。パラメータ推計結果を表-5,6 に示す。

なお、CO₂ 排出量は燃料消費量にほぼ比例すると考えられるため、本モデルを用いることによって CO₂ 削減効果についてもある程度求めることが出来る。

5. 微視的道路交通シミュレーションを用いた排出ガス予測システムの構築

井ノ口が開発した微視的道路交通シミュレーションシステム(CaTS)²⁾に3章および4章で構築したモデルを組み込み、排出ガス予測システムの構築を行う。CaTSの特徴として

- ・車両1台1台の挙動を交差点内も含めて詳細に再現している
- ・タイムスキニング方式を採用している
- ・ファジィ的ニューラルネットワークを用いた追従モ

デルを用いていることなどが挙げられる。従って、排出ガスの予測システムの構築には適している。

本モデルを大阪府吹田市南千里駅前交差点に適用した。交差点の幾何構造を図-1 に示す。交通量の計測を平成 15 年 11 月 26 日(水)7:00~10:00 にビデオカメラを用いて行った。大型車混入率は 11%であった。今回は走行車両の詳細なデータが得られなかったため、排出ガス量の予測は大型車のみを対象とし、大型車のうち 2 章で走行調査を行った車両 No.1,3,4 に相当する車両が同じ比率、積載についても空・半載・全載が同じ比率(それぞれ 11%)で走行していると仮定した。

8 時から 9 時までの 1 時間の普通車も含めた全車両の平均所要時間、大型車についての NOx 排出量・燃料

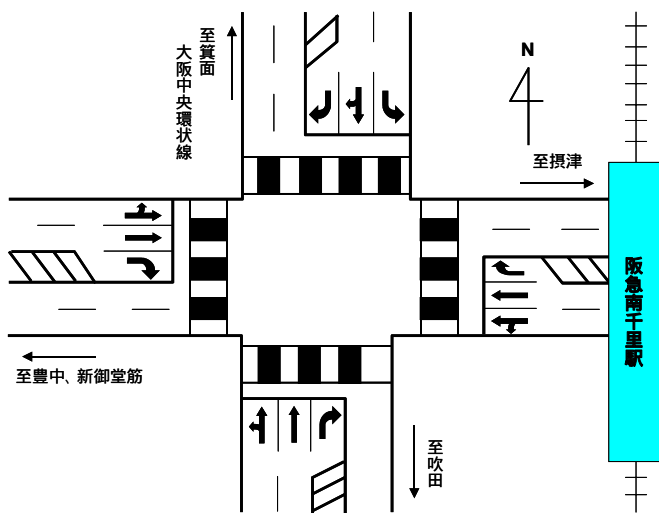


図-1 南千里駅前交差点の幾何構造

表-7 現況シミュレーション結果(8:00~9:00)

リンク				
全車種交通量(台)	1694	829	1086	618
総走行時間(時間)	20.30	20.14	18.23	10.19
大型車交通量(台)	186	91	119	68
大型車 NOx 排出量(g)	144	642	132	73
大型車燃料消費量()	7.7	26.2	6.8	3.6

表-8 リンク 改良後のシミュレーション結果 (8:00~9:00)

リンク		現況との比率
全車種交通量(台)	887	107%
総走行時間(時間)	13.48	67%
大型車交通量(台)	97	107%
大型車 NOx 排出量(g)	108	17%
大型車燃料消費量()	5.6	21%

消費量のシミュレーション結果を表-7 に示す。次に、交差点改良による環境負荷削減効果の算出例として、右折交通の影響で のリンクが渋滞していることから交差点付近の車線数を 1 車線増やし、左折直進・直進専用・右折専用・右折専用の運用に変更した場合の削減効果を表-8 に示す。流れがスムーズになることで加減速が大幅に減り、環境改善効果も大きいことが分かる。この例に示す通り、従来の所要時間の削減効果に加えて、環境負荷の削減効果も考慮して交通計画を策定することが出来る。

6.まとめ

本研究では、NOx 測定装置を用いて、実道路上で複数の車両について積載条件を変えて排出ガスの計測を行い、詳細なデータを取得した。取得したデータを基に NOx 排出量と燃料消費量の推計モデルを作成した。なお、CO2 削減効果についても燃料消費量の推計モデルから推定することが可能である。次に、推計モデルを微視的道路交通シミュレーションモデル(CaTS)に組み込み、排出ガス量の予測を行い、本システムの有用性を示した。

なお、走行調査で用いた NOx 計測装置は、排出ガスの流量についてはエンジン回転数から推定しているため、それ程精度は高くない。従って、今後は本装置に排ガスの流量計を加えて、より精度の高い計測を行い、モデルを構築していく必要がある。

謝辞

本研究は財団法人佐川交通社会財団交通安全調査研究振興助成を受けた研究成果の一部である。また、調査に際しては(株)ホリバアイテック 早田氏および(株)堀場製作所 中西氏の協力を頂いた。ここに記して謝意を表したい。

参考文献

- 1)井上穰,木原信隆:厚膜ジルコニア NOx センサを使用した直挿型 NOx 計 MEXA-120NOx, Readout, No.15, pp.47-51, 1997.
- 2)井ノ口弘昭:交通量配分問題へのファジィ・ニューラルネットワークの適用に関する研究,名古屋大学学位論文, 2001.