

車両感知器データを用いた自動車排出ガス量 推計システムの開発

三井達郎¹・森健二²・萩田賢司³

¹正会員 博(工) 科学警察研究所 交通部交通規制研究室(〒277-0882 千葉県柏市柏の葉 6-3-1)

²正会員 工修 科学警察研究所 交通部交通規制研究室(〒277-0882 千葉県柏市柏の葉 6-3-1)

³正会員 科学警察研究所 交通部交通規制研究室(〒277-0882 千葉県柏市柏の葉 6-3-1)

車両感知器データを使って、幹線道路における自動車排出ガス量を推計するシステムを開発した。最初に、シャシダイナモメータによる排出ガス測定データを基に、車の走行パターンから自動車排出ガス量を推定する方法を検討した。次に、実道路上での走行実態調査データと車両感知器データを用いて、車両感知器データから走行パターンを推定する方法を検討した。以上の検討結果を千葉県柏地域の国道16号、国道6号、県道船橋我孫子線に適用し、238道路区間(信号交差点に挟まれた区間)の排出ガス量を時々刻々と算出するシステムを構築した。

Key Words: vehicle detector, vehicle emissions, air quality, monitoring system

1. はじめに

沿道環境の改善をねらいとした交通流対策を効果的に実施するためには、まず、対象地域における自動車排出ガス量を時間的・空間的に可能な限り正確に把握する必要がある。しかしながら、現在までのところ、数少ない自動車排出ガス測定局で大気中の自動車排出ガス濃度を測定できるのみであり、このため、具体的交通流対策の選定や対策効果の評価を的確に行うのが困難な状況である。

一方、道路上には都道府県警察によって全国で約14万基の車両感知器が設置されており、全国170都市の交通管制センターでは、これらの車両感知器から得られるリアルタイムの交通量、速度、混雑状況等のデータを基に、信号制御や交通情報提供等を行っている。車両感知器は、特に都市部において数多く設置されていることから、これら車両感知器のデータを用いて街路網を走行する車の走行状態を推定することができる。自動車からの排出ガス量は車の走行状態と深く関係していることを考慮すれば、車両感知器データと車の走行状態の関係を明確化することにより、車両感知器データから直接自動車排出ガス量を推計することが可能になる。しかしながら現在まで、車の走行状態から排出ガス量を推定する

モデルについては研究例がみられるものの^{1),2),3)}、これらのモデルを車両感知器データと関連づけた研究はみられない。

本研究では、千葉県柏地域の国道16号、国道6号、県道船橋我孫子線に設置されている車両感知器のデータを活用して全長約50kmの幹線道路における排出ガス量を推計するシステムを開発することを目的とする。ここで開発するシステムは、環境負荷軽減のための交通流対策をより効果的に実施し、かつその効果を定量的に評価する手段として役立つことが期待される。

2. 排出量推計の考え方

本研究では、対象路線を複数の道路区間(信号交差点に挟まれた区間)に分割し、道路区間ごとに排ガス量(NO_x , PM , CO_2)を推定することとした。排ガス推定の流れは図-1のとおりである。まず、各道路区間に設置されている超音波式車両感知器(以下、車両感知器という。)のデータを基に、その道路区間における時々刻々の走行パターン(速度の変化パターン)を推定する。続いて、その走行パターンで走行した場合の1台当たりの排ガス量を車種別に算出する。次に、車種別交通量データを用いて、当該道

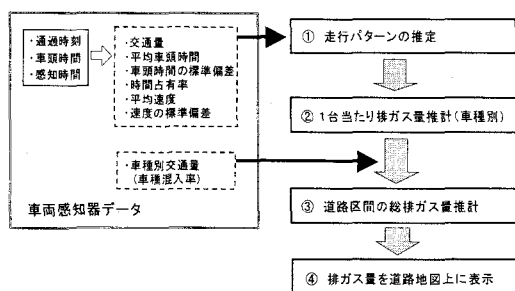


図-1 システムの全体像

路区間で発生する総排出量を推計する。そして、対象路線を構成するすべての道路区間の排ガス量を推計し、その結果を道路地図上に表示するというものである。

以上の手順で排ガス量を推計するためには、走行パターンから自動車排ガス量を推計する方法、及び、車両感知器データから車の走行パターンを推定する方法を確立する必要がある。以下の3章、4章では、これらの点について検討する。

3. 走行パターンから自動車排ガス量を推計する方法

走行パターンが与えられたときの排ガス量の推計には、小根山らが提案したモデル¹⁾²⁾を用いた。このモデルでは、対象道路区間の走行時間を T とすれば、総排出量 F は、以下の式で求められる。

$$F = c_1 \cdot Z_v + c_2 \cdot Z_{v^3} + c_3 \cdot Z_{av} + c_4 \cdot Z_a + c_5 T \quad (1)$$

ここで、 v =車両速度、 a =車両加速度、 $Z_v = \int_T v dt$ 、 $Z_{v^3} = \int_T v^3 dt$ 、 $Z_{av} = \int_T v dv$ 、 $Z_a = \int_T a dt$ 、 δ : 総抵抗 >0 のとき $\delta=1$ 、総抵抗 ≤ 0 のとき $\delta=0$ 、 $c_1 \sim c_5$ はパラメータ（車種、排ガスの種類ごとに異なる）である。

パラメータ $c_1 \sim c_5$ の値を求めるために、シャシダイナモメータによる排ガス量測定を行った。供試車両は、乗用車（ガソリン車、平成13年式、総排気量1988cc）、トラック2t（ディーゼル車、平成12年式、最大積載量2t）、トラック4t（ディーゼル車、平成13年式、最大積載量4.1t）、トラック13t（ディーゼル車、平成13年式、最大積載量13.2t）の計4台とした。排ガス測定時の走行モードは、JARIモード³⁾（計4モード）を用いた。測定によって、乗用車については1秒ごとの速度、NOx、CO₂の排出量データ、トラックについては、1秒ごとの速度、NOx、CO₂、煤煙の排出量データを得た。

ここで、煤煙とは、自動車から排出される黒煙やすすである。（この煤煙の定義は、道路トンネル等の

表-1 排ガス量の推計値と測定値の相関係数、RMS誤差

排ガス	車種	相関係数	RMS誤差 (単位)
CO ₂	乗用車	0.996	8.1 (g/km)
	トラック2t	0.983	18.4
	トラック4t	0.985	27.4
	トラック13t	0.995	36.0
NOx	トラック2t	0.975	0.190 (g/km)
	トラック4t	0.988	0.176
	トラック13t	0.985	0.494
煤煙	トラック2t	0.928	0.045 (m ² /km)
	トラック4t	0.961	0.079
	トラック13t	0.889	0.122

分野で用いられている⁶⁾。大気汚染防止法第2条では、燃料その他の物の燃焼に伴い発生するいおう酸化物、ばいじん、カドミウム、塩素等を煤煙と規定しているが、本研究で用いる「煤煙」という用語は、大気汚染防止法の煤煙の定義とは異なっている。）

今回の測定では、オパシメータ（光透過式黒煙測定器）を用いて排出ガスの吸光係数を測定し、これに排出ガス流量を乗じることによって煤煙排出量を求めた。（吸光係数の単位は m^{-1} 、排出ガス流量の単位は m^3 であるから、煤煙排出量の単位は m^2 となる。この単位で表した煤煙排出量は道路トンネル関係で一般に使用されている⁶⁾。）

トラックから排出されるPM（粒子状物質）については、粒子捕集フィルターを使用する関係で1秒ごと排出量データは得られなかった。そこで、モード別の排出量を測定した。

得られたデータを基に、車種別、排ガスの種類別にパラメータ $c_1 \sim c_5$ を最小2乗法で求めた。集計距離は、システム開発対象路線の道路区間長を勘案して500mに設定した。得られたパラメータ $c_1 \sim c_5$ を使って式(1)からCO₂、NOx、煤煙の推計量を求めた。そして、これらの推計値とシャシダイナモメータによる測定値の相関係数及びRMS誤差を算出した（表-1）。相関係数は比較的高い値となっていることがわかる。（乗用車のNOx排出量は極めて少なくバラツキが大きいので、有効な $c_1 \sim c_5$ を得られなかった。よって5章の排ガス推計計算では、今回の測定データから求めた排出係数0.0136g/kmを用いた。）

PMについては1秒ごとのデータがないため、式(1)から直接にPM排出量を推計することはできない。そこで、まず、走行モード別の総煤煙量と総PM量の関係を調べた。図-2は、計24の測定データ（トラック3車種×モード数4×測定回数2回）について総煤煙量と総PM量をプロットしたものである。煤煙量とPM量の関係は、車種、走行モード（平均速度）によって影響される可能性があるが、今回の

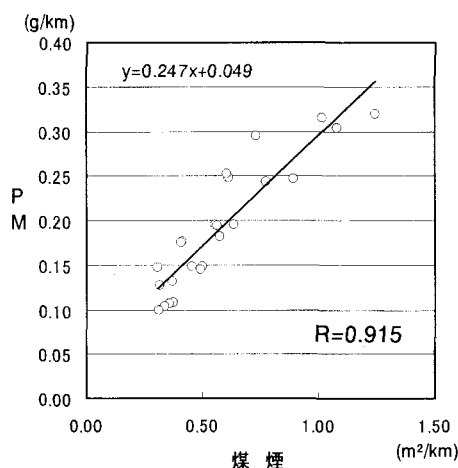


図-2 煤煙とPMの関係

測定データではサンプル数が少なく、両者の関係を詳細に分析することができなかった。そこで、車種、走行モードにかかわらず煤煙に占めるPM量の割合は一定と仮定して両者の関係を一次式で近似した。その結果、総煤煙量と総PM量の間には高い相関があることがわかった。この結果を踏まえ、本研究では、PM推計の方法として、式(1)から煤煙量を推計し、求められた煤煙量から図-2の関係を利用して間接的にPMを推定するという方法を採用した。

4. 車両感知器データから車の走行パターンを推定する方法

(1) 走行調査と車両感知器データの収集

システム構築の対象とする千葉県柏地域の国道16号、6号、県道船橋我孫子線において、試験車(車速計、加速度計、GPSを装備)を用いた走行調査を行った。走行調査は、各道路区間の走行パターンデータが30回分以上得られるように日時を変化させて実施した。そして、1秒ごとの速度データを用いて、走行パターンごとに式(1)中の Z_v 、 Z_{v3} 、 Z_{av} 、 Z_a 、 T (以下、走行パターン指標という。)を算出した。ここで、 δ については、定速及び加速時は $\delta=1$ 、停止及び減速時は $\delta=0$ とした。

次に、試験車が車両感知器の下を通過した時刻と同日同時時間帯の車両感知器データ(感知器を通過したすべての車の通過時刻、車頭時間、感知時間)を収集した。そして、これらのデータから試験車通過時刻を含む10分間の交通量 Q 、平均車頭時間 H 、車頭時間の標準偏差 H_{sd} 、時間占有率 O_{cc} (感知時間の

全車合計が10分間に占める割合)、平均速度 V 、速度の標準偏差 V_{sd} の6項目を求めた。ここで、速度については、車長を5mに設定して感知時間から算出した。(速度を正確に算出するためには、1台ごとの車長データが必要である。しかし、通常の車両感知器では車長を直接計測することができないので、交通管制では車長を一定値と仮定した推定速度を用いることが多い。なお、5章で述べるように実際の道路上には車長、車高、車幅を直接計測できる車種判別感知器も設置されているが、設置数は通常の車両感知器に比べて極めて少ない。)

以上の調査により、車両感知器の設置されている125道路区間について、合計4,248の走行パターン指標と車両感知器データの組が得られた。

(2) 走行パターン推定モデルの構築

式(1)より、ある走行パターンが与えられたときに、その走行パターンの排ガス量を推計するためには Z_v 、 Z_{v3} 、 Z_{av} 、 Z_a 、 T がわかればよい。まず、道路区間 k の i 番目の走行パターンを $\mathbf{P}^{ki}$ としたとき、 $\mathbf{P}^{ki}$ を式(2)のように Z_v 、 Z_{v3} 、 Z_{av} 、 Z_a 、 T を要素とするベクトルと考えた。

$$\mathbf{P}^{ki} = [Z_v^{ki}, Z_{v3}^{ki}, Z_{av}^{ki}, Z_a^{ki}, T^{ki}] \quad (2)$$

また、 $\mathbf{P}^{ki}$ の測定時点を含む10分間の車両感知器データ $\mathbf{D}^{ki}$ も同様に式(3)のようなベクトルと考えた。

$$\mathbf{D}^{ki} = [Q^{ki}, H^{ki}, H_{sd}^{ki}, O_{cc}^{ki}, V^{ki}, V_{sd}^{ki}] \quad (3)$$

そして、 $\mathbf{D}^{ki}$ の6つの要素と、道路区間 k の区間長 L^k および車両感知器の設置位置(停止線からの距離) L_d^k の計8変数を用いて走行パターン指標 Z_v 、 Z_{v3} 、 Z_{av} 、 Z_a 、 T を推定する重回帰モデルの構築を試みた。道路区間数 k は125である。また、各道路区間の走行パターン数 i は道路区間ごとに異なり、平均では34である。以下の分析は、走行パターン指標、車両感知器データ、区間長、車両感知器位置を1組とする合計4,248のデータセット(分析対象データセット、表-2参照)を用いて行った。

最初に8つの説明変数間の相関分析を行った。その結果、 Q と H 、 Q と H_{sd} の間にはそれぞれ-0.83、-0.79という高い相関があることが判明した。そこで、 H と H_{sd} を除いた6変数を説明変数として重回帰分析を行った。結果を表-3に示す。偏回帰係数をみると平均速度 V 、道路区間長 L 、車両感知器位置 L_d がすべての目的変数で有意となっており、走行パターンへの影響力が高いことがわかる。また重相関係数をみるとすべての目的関数で0.6以上であり、特に Z_v と Z_{v3} で0.84以上と高い。

表-3中の重相関係数は、モデル構築に用いたデータとモデル検証用のデータを同一としたときの結果

表-2 分析対象データセット

No	区間番号 k	走行パターン i	走行パターン指標					車両感知器データ				区間長 L _i (m)	感知器位置 L _j (m)
			Z _v	Z _{v3}	Z _{av}	Z _a	T	O _{cc}	V	V _{sd}			
1	1	1	177	24665	94	13	41	121	33.8	31.0	16.2	301	90
2	1	2	262	28007	97	14	59	141	33.9	26.7	14.0	301	90
33	1	33	95	12964	58	7	30	96	21.1	37.4	17.3	301	90
34	1	34	104	27283	77	12	52	125	11.7	40.2	14.6	301	90
35	2	1	477	140230	96	6	35	94	8.7	37.6	13.0	582	350
68	2	34	255	65837	147	15	53	65	4.5	47.3	11.5	582	350
4215	125	1	365	51142	156	18	69	88	13.3	26.8	11.3	511	140
4248	125	34	323	56102	99	13	61	59	5.7	33.4	7.2	511	140

表-3 偏回帰係数と重相関係数

説明変数	目的変数				
	Z _v	Z _{v3}	Z _{av}	Z _a	T
O _{cc}	0.014	-8.9	0.017	-0.027 **	-0.355 **
V	-0.240	-321.6 **	0.190	0.228 **	2.735 **
V _{sd}	0.618 **	1363.8 **	-0.686 **	-0.156 **	-0.591 **
L	-0.618	518.3 *	-0.347	-0.132 **	-0.988 **
L _d	0.569 **	147.0 **	0.114 **	0.011 **	0.084 **
L _j	0.039 **	12.2 *	0.020 **	0.004 **	0.040 **
定数項	2.503	-59472.9 **	45.522 **	9.478 **	39.499 **
重相関係数	0.934	0.847	0.655	0.620	0.683

(注) **はP<0.01, *はP<0.05を示す。

であるが、本研究で開発するシステムでは、モデル構築用の車両感知器データとは異なったデータを用いて走行パターンを予測する必要がある。このような場合の重回帰モデルの妥当性を調べるために、全4,248のデータを乱数を用いて2群に分割し、まず1つの群でモデル構築を行った。そして、次に他の群をこのモデルに当てはめ、走行パターン指標の推定値と実測値の相関係数を求めた。2群の分割を5回繰り返した結果、推定値と実測値の相関係数は、目的変数Z_vの場合が0.930~0.939、Z_{v3}で0.834~0.862、Z_{av}で0.630~0.664、Z_aで0.619~0.634、Tで0.672~0.707であった。以上の検討より、重回帰モデルはモデル構築に用いたデータと異なったデータに対しても適用できると判断した。

(3) 推定した走行パターン指標による排ガス量推計精度

前項で構築した重回帰モデルで走行パターン指標を推定した場合の排ガス量推計精度を検討した。具体的には、実測の走行パターン指標から算出した排ガス量（排ガス量Ⅰ）と、重回帰モデルで推定した走行パターン指標から求めた排ガス量（排ガス量Ⅱ）を比較した。排ガス量Ⅰは分析対象データセット中の走行パターン指標を式(1)に代入して算出した排ガス量である。また、排ガス量Ⅱは、分析対象データセット中の車両感知器データとL、L_dをまず表-3の重回帰モデルに代入して走行パターン指標を推定

表-4 実測走行パターン指標による排ガス量と推定走行パターン指標による排ガス量の相関

排ガス	車種	相関係数
CO ₂	乗用車	0.905
	トラック2t	0.864
	トラック4t	0.885
NO _x	トラック13t	0.837
	トラック2t	0.822
	トラック4t	0.865
煤煙	トラック13t	0.793
	トラック2t	0.917
	トラック4t	0.877
	トラック13t	0.797

し、続いてその推定した走行パターンを式(1)に代入して求めた排ガス量である。排ガスの種類別、車種別に排ガス量Ⅰと排ガス量Ⅱを算出し、両者の相関係数を求めた。結果を表-4に示す。表-4よりいずれのケースも相関係数は0.79以上の高い値となっていることがわかる。したがって、排ガス推計に当たっては、試験車による実走行調査データの代わりに車両感知器データから推定した走行パターン指標を用いても排ガス量を推計できると言える。

5. 自動車排ガス量推計システムの構築

上記3、4の検討結果を基に、千葉県柏地域の国道16号、国道6号、県道船橋我孫子線の計238の道路区間（信号交差点に挟まれた区間で上下は別区間と定義）を対象として、各道路区間で発生する排ガス量を時々刻々と推計・表示するシステムを構築した。使用した車両感知器数は181基である。具体的な排ガス推計手順を以下に示す。

Step1: 走行パターンの推定

道路区間kの時間帯t（10分単位）の車両感知器データをO^{k,t}、O_{cc}^{k,t}、V^{k,t}、V_{sd}^{k,t}とする。これらのデータは科学警察研究所の交通管制情報収集システムで収集する。O^{k,t}、O_{cc}^{k,t}、V^{k,t}、V_{sd}^{k,t}、L^k、L_d^kを表-3の重回帰モデルに代入し、道路区間kの時間帯tの走行パターン指標Z_v^{k,t}、Z_{v3}^{k,t}、Z_{av}^{k,t}、Z_a^{k,t}、T^{k,t}を求める。得られた走行パターン指標を道路区間kでの時間帯tの代表的走行パターンとみなす。

Step2: 1台当たり排ガス量の推計

走行パターン指標Z_v^{k,t}、Z_{v3}^{k,t}、Z_{av}^{k,t}、Z_a^{k,t}、T^{k,t}と、車種別・排ガス別のパラメータc₁~c₅を式(1)に代入し、車種別・排ガス別の1台あたり排ガス量を算出する。道路区間k、時間帯tの大型トラック（最大積載量13tに相当）1台当たりの排ガス量をF_L^{k,t}、中型トラック（最大積載量4tに相当）1台当たりの排ガス量を

$F_M^{k,t}$ 、小型トラック（最大積載量 2t に相当）1 台あたりの排ガス量を $F_S^{k,t}$ 、乗用車の排ガス量を $F_C^{k,t}$ とする。ただし、乗用車の NOx 排出量については、排出係数 0.0136g/km（一定）を用いて $F_C^{k,t}$ を求める。

Step3: 道路区間の総排ガス量の推計

道路区間 k 、時間帯 t の総排ガス量 $F^{k,t}$ を以下の式で算出する。

$$F^{k,t} = F_L^{k,t} \times Q_L^{k,t} + F_M^{k,t} \times Q_M^{k,t} + F_S^{k,t} \times Q_S^{k,t} + F_C^{k,t} \times Q_C^{k,t} \quad (4)$$

ここで、 $Q_L^{k,t}$ =道路区間 k の時間帯 t における大型トラック交通量、 $Q_M^{k,t}$ =道路区間 k の時間帯 t における中型トラック交通量、 $Q_S^{k,t}$ =道路区間 k の時間帯 t における小型トラック交通量、 $Q_C^{k,t}$ =道路区間 k の時間帯 t における乗用車交通量である。これら車種別交通量は、国道 16 号と国道 6 号については道路上に設置されている車種判別感知器から得られる車種別混入率データを用いて算出する。県道については車種判別感知器が未設置であるため、別途調査した車種別混入率データを用いて算出する。

Step4: 路線全体の総排ガス量の推計

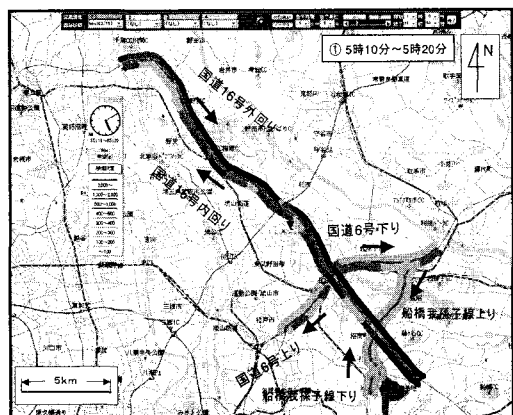
Step1～Step3 を車両感知器が設置されている 125 道路区間に適用し、各区間の排ガス量を算出する。車両感知器が設置されていない 113 道路区間に対しては、車両感知器のある隣接道路区間の排ガス推計値を用いて排ガス量を推計する。具体的には、各車種の単位距離当たり 1 台当たりの排ガス量は、車両感知器のある区間と、それに隣接する車両感知器のない区間で等しいと仮定して排ガス量を算出する。

6. 排ガス量の推計結果

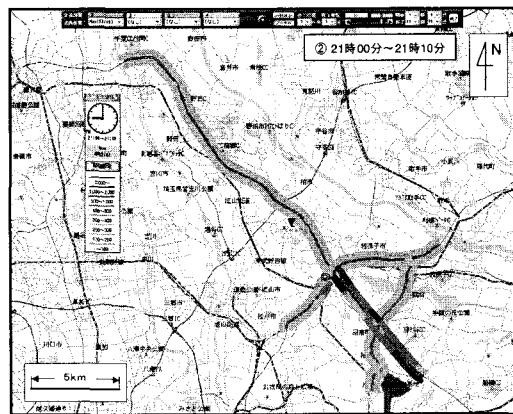
排ガス量推計の例として、平成 15 年 3 月 19 日の車両感知器データを用いて排ガス量を推計した結果を図-3～図-5 に示す。

図-3 は、道路区間別の NOx 量を推計し、地図上に示した例である。(a) は 5:10-5:20 の NOx 量、(b) は 21:00-21:10 の NOx 量で単位は g/(10 分・km) である。本システムでは、システムに入力された車両感知器データに基づいて、このような画面を時間の経過とともに連続的に表示する機能を有している。5:10-5:20 の時間帯では国道 16 号が他の 2 路線に比べて NOx 排出量が多いこと、21:00-21:10 では一部の区間を除いて全体的に NOx 排出量が少ないこと等が示されている。この図より、1km 当たりの NOx 排出量は、道路区間別、時間帯別にかかなり異なることがわかる。

図-4 は、国道 16 号外回りの野田市から白井市までの 64 道路区間について、各道路区間で排出される



(a) 5 時 10 分～5 時 20 分の NOx 排出量



(b) 21 時 00 分～21 時 10 分の NOx 排出量

図-3 道路区間別 NOx 推計量の表示画面の例

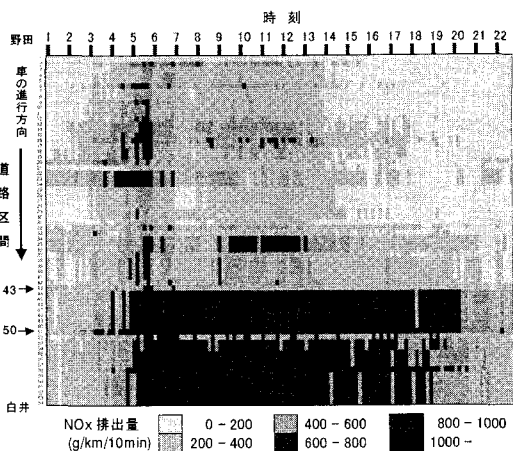


図-4 道路区間別・時刻別 NOx 推計量
(国道 16 号外回り 野田市→白井市 全長 29km)

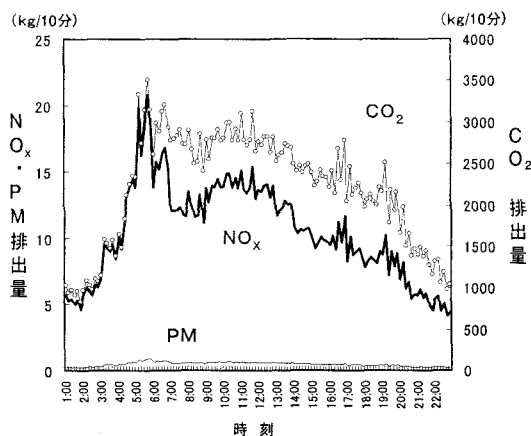


図-5 国道 16 号外回りの時刻別排ガス推計量
(野田市→白井市 全長 29km)

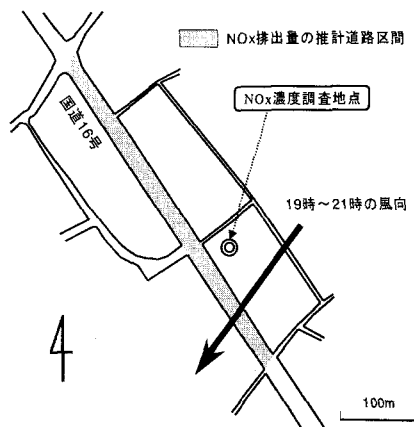


図-6 NOx 濃度観測地点

NOx 量 (g/(10 分・km)) がどのように推移していくかを示した図である。同図より、特に No.43 から No.50 の道路区間においてほぼ全日に渡って NOx 排出量が多いことなどがわかる。この区間では、大型車交通量が多く、しかも信号交差点が短い間隔で連続しているために車は停止と発進を繰り返しながら走行する。このことが NOx 排出量の多さの原因と考えられる。

図-5 は、国道 16 号外回りの野田市と白井市間の全長 29km の路線における NOx, PM, CO₂ 排出量の推移を示した図である。同図には、NOx, CO₂ がピークとなる時間帯は 5:00-6:00 であることが示されているが、このピークは大型車交通量の多い時間帯とおおむね一致する。また、NOx, CO₂ は、10:00-11:00 にも多いがこれは自動車の総交通量が多く、大型車混入率も比較的高い時間帯である。

以上、本システムから出力される主な推計結果を示したが、これらの推計値を詳細に検討することにより、排ガス量の多い地点と時間帯を特定することができる。よって、本システムは、排ガス量を低減させるための交通流対策を立案、実施する上で有用と言える。

7. 排ガス推計値の検証

(1) 大気中の NOx 濃度の測定

本システムから出力される NOx 排出量の推計値を検証することをねらいとして、国道 16 号の沿道で大気中の NOx 濃度を測定した。測定地点は千葉県野田市横内である。測定地点の概要を図-6 に示す。NOx 濃度の測定は JIS B 7953 に従って実施した。す

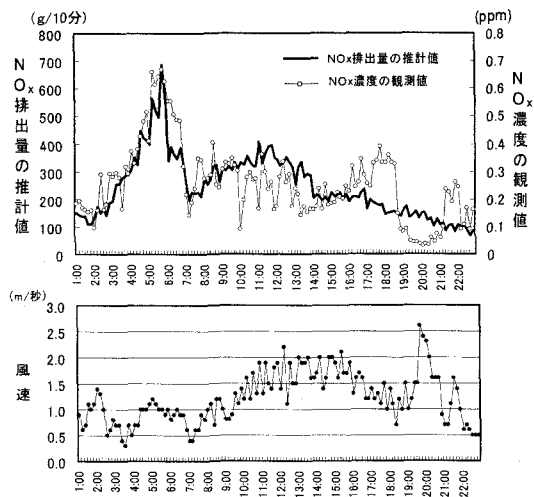


図-7 NOx 排出量の推計値と NOx 濃度観測値の時間変化

なわち、化学発光法に基づく「大気中の窒素酸化物自動計測器」により、NO 濃度と NO₂ 濃度を 10 分間単位で測定した。NOx 濃度は NO 濃度と NO₂ 濃度の合計とした。サンプリング高度は地上 1.5m とした。また、プロベラ型風向風速計を地上高 4.0m に設置し風向と風速を連続観測した。測定期間は平成 15 年 3 月 19 日 (水) 0 時～3 月 21 日 (金) 24 時である。

(2) NOx 排出量推計値と NOx 濃度の関係

NOx 濃度観測地点で測定した NOx 濃度と、その近傍の道路区間 (全長約 450m, 図-6 参照) での NOx 排出量の推計値 (システムからの出力値) を比較し

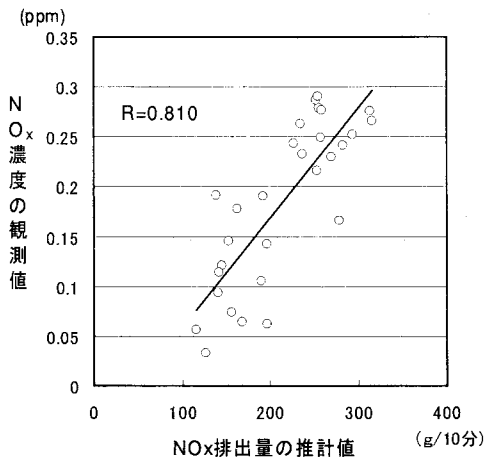


図-8 NOx 排出量の推計値と NOx 濃度観測値の比較（無風状態）

た。図-7 に 10 分間隔の NOx 排出量推計値、NOx 濃度の観測値、風速の時間変化を示す。この図は 3 月 19 日の結果である。NOx 排出量と NOx 濃度は絶対値では比較できないので時間変化パターンを比較してみる。図-7 より、NOx 排出量の推計値と NOx 濃度の観測値は 1 時～16 時までは時間的な変化パターンが類似している。しかし、16 時以降は両者で傾向が異なっている。19 時～21 時に着目すると NOx 濃度が NOx 排出量の推計値を下回っているが、この時間帯の風速をみると 2.5m/秒と比較的強く、しかも風向が図-6 に示すように道路上の車から排出されたガスが NOx 濃度観測地点から遠ざかるような方向となっている。16 時以降の排出量と濃度の差異はこのような風の影響によるものと考えられる。

そこで、風の影響を除いた場合の NOx 排出量推計値と NOx 濃度の観測値を比較した。具体的には、まず、NOx 濃度の観測を行った 3 日間のうち無風状態（風速が 0.5m/秒未満）の時間帯を抽出した。そして、無風の時間帯について 10 分単位の NOx 排出量の推計値と NOx 濃度の観測値を比較した（サンプル数は 29）。結果を図-8 に示す。両者の相関係数は 0.810 と比較的高い値となっている。

以上の検証により、本システムの NOx 排出量の推計値はおおむね妥当と言える。

8. おわりに

本研究では、車両センサーデータを用いて排出ガスを推計するための基礎技術として、車両センサーデータから車の速度変化パターンを推定する方法、及

び速度変化パターンから自動車排出ガスを推計する方法を確立した。続いて、これらの技術を千葉県柏地域の国道 16 号、国道 6 号、県道船橋我孫子線の全長約 50km の路線に適用し、排出ガスを道路区間（信号交差点で挟まれた区間）ごとに推計・表示するシステムを構築した。本システムを用いれば、時々刻々と変化する排出ガスの推計値を道路区間別に自動的に算出することができる。したがって、排出ガスの多い道路区間、時間帯を正確かつ容易に把握することが可能になり、具体的交通流対策の選定や対策効果の評価をより的確に行えるようになる。

本研究の成果である自動車排ガス推計システムを構築するための基礎技術は全国交通管制センターに適用可能である。これらの技術を実際の交通管制センターに導入することによって、信号制御、交通情報提供、交通規制等の交通流対策による排ガス低減効果をより高めることが期待できる。

残された課題としては、推計手法の改善が挙げられる。具体的には、本研究では煤煙量から PM 量を推計する際に両者の線形関係を仮定したが、この仮定の妥当性を検証する必要がある。また、本研究は 4 車種の排ガス測定データのみを用いてシステムを構築したが、推計精度を向上させるには排出ガス規制別車種構成を考慮した排ガス測定データや交通量データをシステムに組み込むことが望ましい。さらに、本システムによる排ガス量推計精度を確認するために、通常の数値別排出係数を用いた推計法と本手法との比較や、交通流シミュレーションなどを用いて実際の排ガス量と本システムの推計値を比較すること等が必要と考える。

今後は上で述べたシステムの改良や推計精度の検証に加え、本システムを活用した交通流対策実施手法などについても引き続き研究を進める予定である。

参考文献

- 1) 小根山裕之、桑原雅夫：排出量推計モデルに基づく信号交差点の排出量推計、第 21 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.121-124, 2001.
- 2) Oneyama, H., Oguchi, T. and Kuwahara, M.: Estimation Model of Vehicle Emission Considering Variation of Running Speed, The 4th Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2001.
- 3) 大口敬、片倉正彦、谷口正明：都市部道路交通における自動車の二酸化炭素排出量推定モデル、土木学会論文集, No.695, pp.125-136, 2002.
- 4) 内田勲、小根山裕之、赤羽弘和、桑原雅夫：環境負荷の視点からみた交差点周辺の走行軌跡と交通状態の関係分析、土木計画学研究・講演集, No.24(2), pp.229-232,

2001.

- 5) 平井洋，柳漢吳，土井努，細井賢三：排出係数測定用の実走行モードの作成方法について，自動車研究，Vol.18(12)，pp.5-8，1996.

- 6) 日本道路協会：道路トンネル技術（換気編）・同解説，pp.18-23，2001.

DEVELOPMENT OF EMISSION MONITORING SYSTEM USING VEHICLE DETECTORS

Tatsuro MITSUI, Kenji MORI and Kenji HAGITA

The objective of this study is to develop an emission monitoring system that estimates NO_x (nitrogen oxides), PM (particulate matter) and CO₂ (carbon dioxide) emissions on each road section using vehicle detectors. The study roads are Route 6 (a total length of 12km), Route 8 (a total length of 10km) and Route 16 (a total length of 29km) in Kashiwa, Chiba. One hundred eighty one ultrasonic detectors have been installed on these roads. First, a method to estimate vehicle emissions from running patterns was established by analyzing time-dependant emission data. Next, a method to estimate running patterns from the detector data was developed. The results from the system include the road maps that indicate the emissions in each road section, and the time-space diagram of the emissions on the study roads. The developed system is useful to identify the road sections and time periods that have excessive emissions.