

車両感知器データを利用した幹線道路における自動車排出ガス量の推計*

Estimation of emission on arterial roads using vehicle detector data

三井達郎**・森健二***・萩田賢司****

By Tatsuro MITSUI**・Kenji MORI***・Kenji HAGITA****

1. はじめに

沿道環境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、数少ない測定施設のみでしか自動車排ガス量を測定することはできず、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号線、国道6号線に設置されている車両感知器データを活用して全長約50kmの幹線道路における排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

*キーワード：交通公害、交通管理

** 正員，博（工），科学警察研究所交通規制研究室

***正員，工修，科学警察研究所交通規制研究室

****正員，科学警察研究所交通規制研究室

（千葉県柏市柏の葉5-2-11，TEL 0471-35-8001）

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，CO₂）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。以下では、これらの点について検討する。

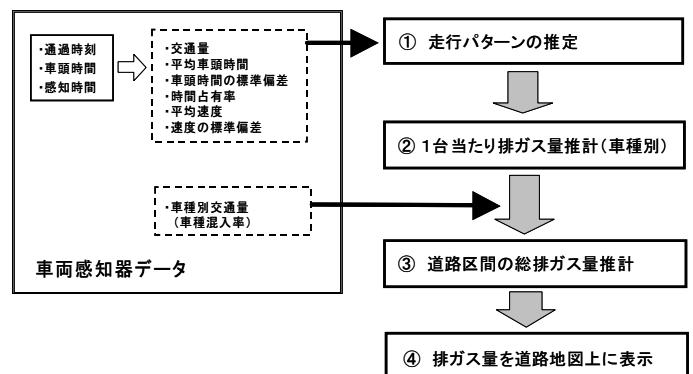


図1 システムの全体像

3. 走行パターンから自動車排ガス量を推計する方法の検討

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 T とすれば、総排出量 F は、以下の式で求められる。

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

ここで、 v =車両速度、 α =車両加速度、 $Z_v=\int_T \delta v dt$ 、 $Z_{v^3}=\int_T \delta v^3 dt$ 、 $Z_{\alpha v}=\int_T \delta \alpha v dt$ 、 $Z_{\alpha}=\int_T \delta \alpha dt$ 、 δ : 総抵抗 >0 のとき1、総抵抗 ≤ 0 のとき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(計4モード)⁵⁾を用いた。測定によって、1秒ごとの速度、NO_x、CO₂、煤煙の排出量データを得た。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いため、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、NO_x、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。

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	0.992	8.1 (g/km)
	トラック2t	0.966	18.4
	トラック4t	0.970	27.4
	トラック13t	0.991	36.0
NO _x	トラック2t	0.950	0.190 (g/km)
	トラック4t	0.976	0.176
	トラック13t	0.969	0.494
煤煙	トラック2t	0.861	0.045 (m ² /km)
	トラック4t	0.923	0.079
	トラック13t	0.791	0.122

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。同図より、総煤煙量と総PM量の間には高い相関があることがわかる。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j利用して間接的にPMを推定するという方法を採用した。

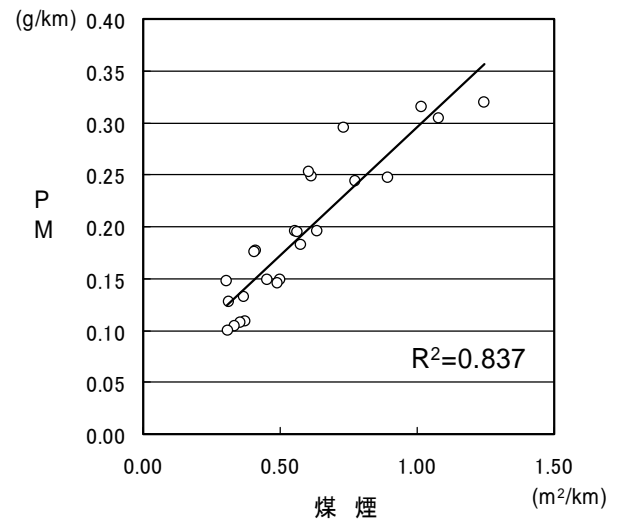


図2 煤煙とPMの関係

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の検討

(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号の計194の道路区間において、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。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。

(2) 車両感知器データと走行パターンの関連づけ

任意の車両感知器データが得られた時に、その車両感知器データから走行パターンを求める方法を検討した。このためには、まず、走行パターンを数値化し、車両感知器データと数値化した走行パターンを関連づけておく必要がある。式(1)より、排ガス量推計のためには $Z_v, Z_{v3}, Z_{\alpha v}, Z_{\alpha}, T$ がわかればよい。そこで、走行パターンを P^i としたとき、 P^i を式(2)のように $Z_v, Z_{v3}, Z_{\alpha v}, Z_{\alpha}, T$ を要素とするベクトルと考えた。

$$P^i = [Z_v^i, Z_{v3}^i, Z_{\alpha v}^i, Z_{\alpha}^i, T^i] \quad (2)$$

また、 P^i の調査時点を含む 10 分間の車両感知器データ D^i も同様に式(3)のようなベクトルと考えた。

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

そして、走行調査から得られた P^i を同日同時刻の D^i と関連づけ、この関係を基に、任意の車両感知器データ D^k が得られた時に、そのデータから P^k を求める方法を検討した。具体的方法として、以下の 2 つを考えた。

方法 1： 走行パターン P^i と同日同時刻の車両感知器データ D^i の対応関係をテーブル化しておく。そして、ある車両感知器データ D^k が得られた時に、テーブル中の D^i の中から D^k に最も近い D^{i*} を選び、この D^{i*} に対応する P^{i*} を、車両感知器データ D^k の時の走行パターンとみなす ($P^k = P^{i*}$)。

この方法では、車両感知器データがどのような値であっても、現実的な P^k が求められること、車両感知器が設置されていない区間においても、隣接道路区間の車両感知器データと当該区間の走行パターンの関係をテーブル化することで本方法が適用できるという利点がある。一方、すべての道路区間ごとに P^i と D^i の対応テーブルを準備しておく必要があり、一般性に欠けるという欠点がある。

方法 2： D^i の 6 つの要素、道路区間長 L 、車両感知器の設置位置 L_d の計 8 変数を用いて P^i の 5 要素を推定する統計モデル (重回帰モデル、ニューラルネットワークモデルなど) を作成する。このモデルを用いて、車両感知器データ D^k の時の P^k を求める。

この方法の利点は、道路区間長と感知器位置がわかれば任意の道路区間に適用できることである。欠点としては、統計モデル推定精度が十分でない場合は D^k の値によっては、得られる P^k が非現実的な値になってしまう恐れがあること、車両感知器が設置されていない道路区間には適用できないことなどが挙げられる。

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 号の計 194 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開発した。車両感知器データから走行パターンを求める方法としては、4 (2) の方法 1 を採用した。 D^{i*} を選ぶ基準としては各要素を標準化したベクトル間のユークリッド距離を用いた。また、式(1)中の 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。

排ガス推計に必要な車種別交通量は、車種判別が可能な車両感知器が当該路線には未設置であったため、別途調査した車種別混入率データを用いて算出した。

排ガス量推計の例として、平成 15 年 3 月 18 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。

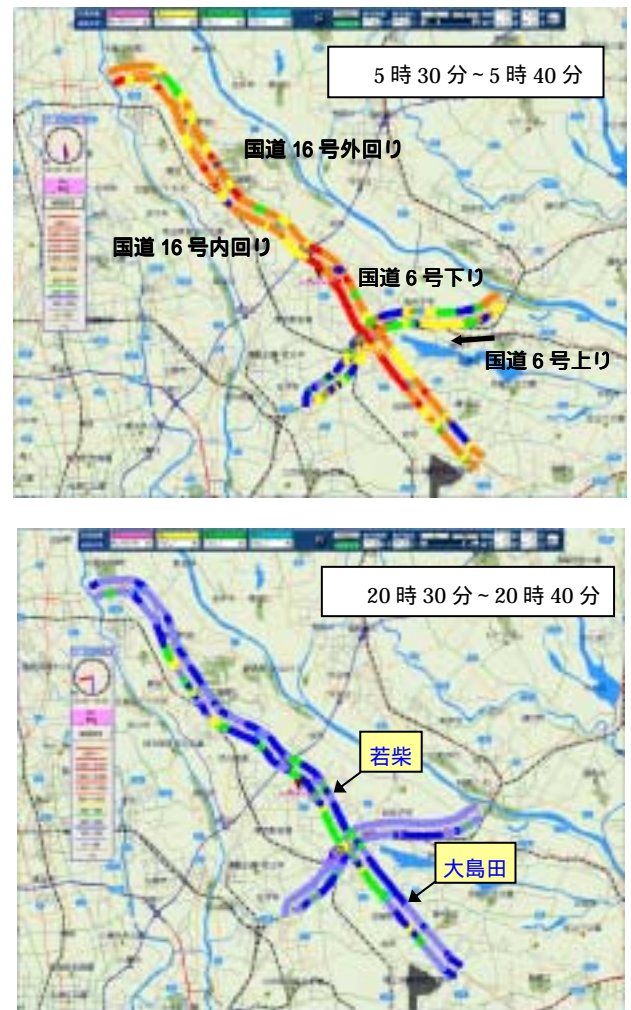


図 3 道路区間別 NOx 推計量の表示画面の例

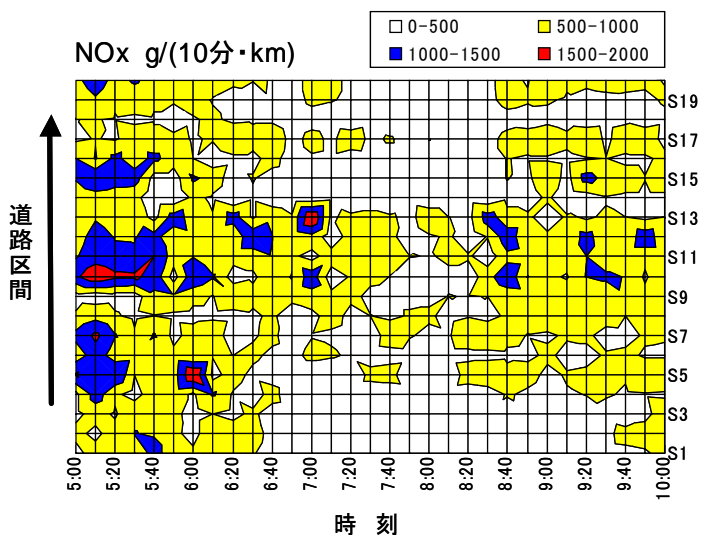


図4 道路区間別・時刻別 NOx 推計量
(国道16号外回り 若柴 大島田)

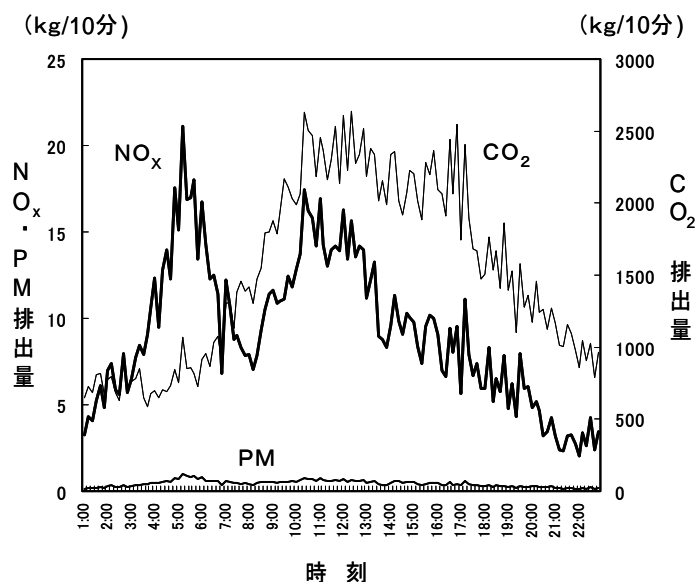


図5 国道16号外回りの時刻別排ガス推計量
(野田市 白井市全長約30km)

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。は5:30-5:40のNOx量、は20:30-20:40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。

図4は、国道16号外回りの柏市若柴から昭南町大島田までの20道路区間について、各道路区間で排出されるNOx量(g/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、5:00~5:40で道路区間S10-S12において1km当たりのNOx排出量が多いことがわかる。

図3, 図4等を詳細に検討することにより、排ガス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。

図5は、国道16号外回りの野田市と白井市間の全長約30km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がピークとなる時間帯は5:00-6:00と10:00-11:00であることが示されているが、これらのピークはおおむね大型車交通量の多い時間帯と一致する。また、CO2は、10:00-17:00に多いがこれは自動車交通量が多いためである。

ここで示した分析例のように、本システムから推計される排ガス量および車両感知器から直接得られる交通流関係のデータを使って、排ガス軽減対策に役立つ様々な情報を得ることができる。

6. おわりに

車の走行パターンと排出ガス量の関係は厳密には1台ごとに異なる。よって実道路上での排ガス量を正確に推定することはほとんど不可能である。本研究では、排ガス量の時間的・空間的な分布を概略的に把握することをねらいにシステム開発を行った。今後は、階ガス推計法の改善や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、pp121-124, 2001年
- 2) Oneyama, Oguchi and Kuwahara: 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、柳漢呉、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.