

# 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\*

Relationship between vehicle trajectories and traffic conditions from viewpoints of vehicle emission\*

内田 勲\*\*・小根山裕之\*\*\*・赤羽 弘和\*\*\*\*・桑原 雅夫\*\*\*\*\*

By Isao UCHIDA\*\*・Hiroyuki ONEYAMA\*\*\*・Hirokazu AKAHANE\*\*\*\*・Masao KUWAHARA\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

都市部の大気汚染は依然として厳しい状況にある。特に、交差点周辺や渋滞部など、加減速による速度変動が大きい個所では、その傾向は著しい。大気環境の改善に向けて、交通の円滑化も含めた種々の施策を実施する必要があるが、効果的な施策の実施のためには、交通改善に伴う交通状況の変化を明確に把握できるような評価手法の確立が求められている。これらの施策の評価を行うためには、対象地域の大きさから巨視的交通流シミュレーションモデルの適用が現実的である。しかし、これらのモデルは、個々の車両レベルでの挙動の再現性は必ずしも高くなく、加減速に伴う速度変動要素など、大気汚染物質の排出に關係する要因を十分に捉えることはできない。そこで、巨視的シミュレーションモデルを用いた排出量の推計を的確に行うためには、交通状況と大気汚染物質の排出に關係する要因との關係を明らかにすることが必要となる。

本研究では、車両の走行状態と交差点における発進挙動を対象として、ビデオ観測により車両の走行軌跡を観測し、環境負荷に影響を与える要因の特性を分析する。また、環境負荷の影響要因とマクロ指標で表される交通状況との關係を分析し、それらの関連づけを行おうとするものである。

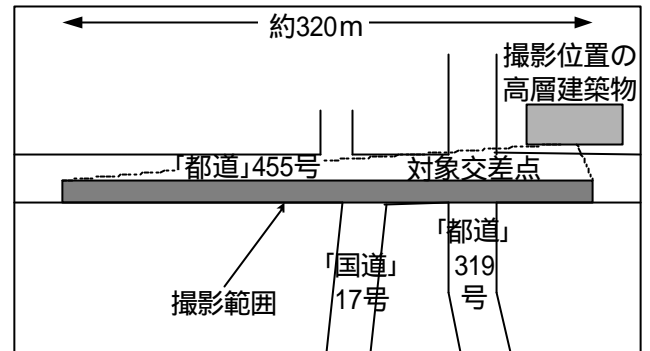


図-1 調査対象の概略

## 2. 大気汚染排出量に關係する影響要因

速度変動を考慮した環境負荷の推計モデルとして、大口<sup>1)</sup>は燃料消費量について、エンジン回転数、トルク的關係及び車両の運動方程式から推計モデルを提案している。また、Oneyama et al.<sup>2)</sup>は同様の考えに基づき、ディーゼル車のNOx排出量を推計するモデルを提案している。これらのモデルは車両の速度プロファイルから得られる集計量を用いて排出量を推計するもので、以下の式で代表される。

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

但し、 $F$ :分析対象区間の総排出量、 $T$ :対象区間の旅行時間、 $Z_v = \int_T v dt$ 、 $Z_{v^3} = \int_T v^3 dt$ 、 $Z_{av} = \int_T a v dt$ 、 $Z_a = \int_T a dt$ 、 $c_1, c_2, c_{3a}, c_{3b}, c_4$ :パラメータ、 $d$ :エンジンが仕事をするとき1,仕事をしないとき0。

ここで式(1)の説明変数について見ると、 $Z_v$ は走行距離、 $Z_{av}$ は運動エネルギーの増分に相当する量、 $Z_a$ は速度の増分に該当する量である。いずれにしても、速度、加速度プロファイルから得られる集計量 $Z_{av}$ 、 $Z_a$ 、 $Z_{v^3}$ 、 $Z_v$ 及び旅行時間 $T$ を分析対象区間について推計できれば、排出量の推計が可能となる。しかし、これらの集計量は速度変動によって大きく異なる。特に、加速に關係する要素である $Z_{av}$ 、 $Z_a$ は、その交通状態や運転挙動によって大きく異なり、特に信号交差点周辺や渋滞時な

\*キーワード 交通公害、交通量計測、ITS  
\*\*正員、千葉工業大学土木工学科研究生  
(千葉県習志野市津田沼2-17-1、  
TEL047-478-0444、FAX047-478-0474)  
\*\*\*正員、工修、東京大学生産技術研究所  
(東京都目黒区駒場4-6-1、  
TEL03-5452-6098、FAX03-5452-6420)  
\*\*\*\*正員、工博、千葉工業大学土木工学科  
(千葉県習志野市津田沼2-17-1、  
TEL047-478-0444、FAX047-478-0474)  
\*\*\*\*\*正員、工博、東京大学生産技術研究所  
(東京都目黒区駒場4-6-1、  
TEL03-5452-6098、FAX03-5452-6420)

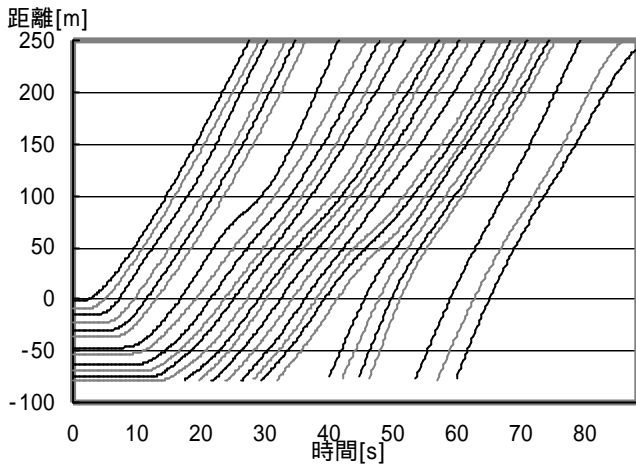


図-2 観測による車両軌跡

どの発進、停止を繰り返すような速度変動の大きな場合は、交通が円滑に行なわれている場合と比較して大きく異なることが予想される。

以下では、交差点周辺を対象として実際の車両挙動を観測し、これらの集計量と交通状況の関係について分析を行った。

### 3. ビデオ観測による交差点からの発進車両の走行軌跡解析

#### (1) ビデオ観測調査の概要

本研究では、交差点周辺の車両の走行軌跡データを得るため、ビデオ観測調査及び画像トラッキングによる解析を行った。調査区間は、本郷通り本郷弥生交差点(下り)の上流側70m、下流側250mの計320mである。図-1に、調査区間の概略を示す。

同区間は、直線道路で見通しが良く、ほぼ平坦である。調査日時は平成12年12月6日の13時30分～16時である。なお、調査当日の天候は晴れであった。

ビデオ観測は隣接する高層建築物の10階より、タイムコードを一致させた4台のビデオカメラで観測した。また、画像トラッキングの基準点を得るため、道路上の基準点及び各カメラ位置の座標を測量した。

#### (2) 画像トラッキングによる車両軌跡データの取得

ビデオ画像に撮影された車両は、以下の方法によりトラッキングして、車両軌跡データを得た。まず撮影した映像をコンピュータに取り込み、静止画に変換したのから車両の画面座標を求め、測量した座標を利用し射

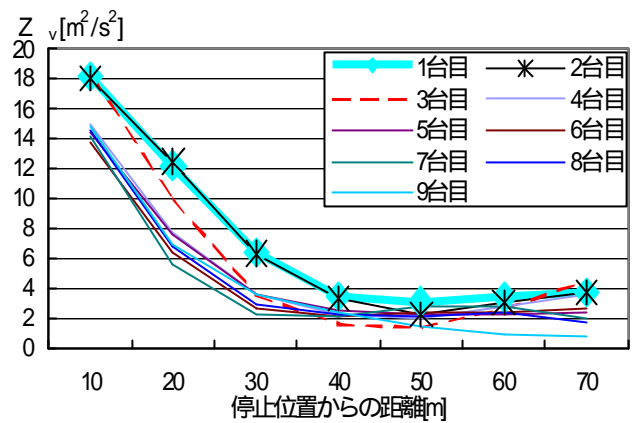


図-3 停止位置からの距離と  $Z_v$

影変換により地上座標を得た。次に、個々の車両についてトラッキング時の車両の形状、位置、前後関係から判断して、複数カメラにおける同一車両を特定する。次に、観測誤差を取り除き複数カメラに軌跡を接続するため、カルマン smoother アルゴリズムを用いた平滑化手法<sup>3)</sup>によりスムージングする。このようにして調査対象範囲において、10 サイクル分の車両について30分の1秒毎に位置、速度、加速度を推定した。図-2に、このようにして得られた車両軌跡の一例を示す。

### 4. 速度変動要素と交通状態の関係分析

観測で得られた走行軌跡のデータを用いて、2章で示した環境負荷に関する集計量と交通状態の関係を分析した。以下に、分析結果をいくつかの視点に分けて示す。なお、以下の分析では環境負荷に関する集計量は、10mで正規化したものを用いている。

#### (1) 停止位置からの距離との関係

図-3に、各車両の停止位置からの距離と  $Z_{av}$  の関係を待ち行列の先頭からの台数でまとめて表した。図-4には、同様に  $Z_a$  との関係を表した。各停止位置の車両のデータ数は待ち行列の先頭から台数ごとに異なり7～10台である。

これらより停止位置から近いほど値が大きくなり、40m以降ではほぼ一定となっており、待ち行列中の車両発進時の影響範囲が概ね40m程度であることが確認できる。また、停止位置の待ち行列中の先頭付近の車両は後続車両より値が大きくなっている。要因として発進時に先行車両の影響を受けにくいいため、他の車両に比べ加速が大きいことが考えられる。

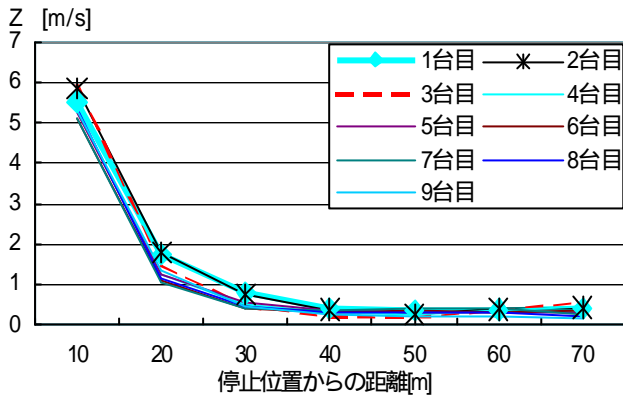


図-4 停止位置からの距離と Z

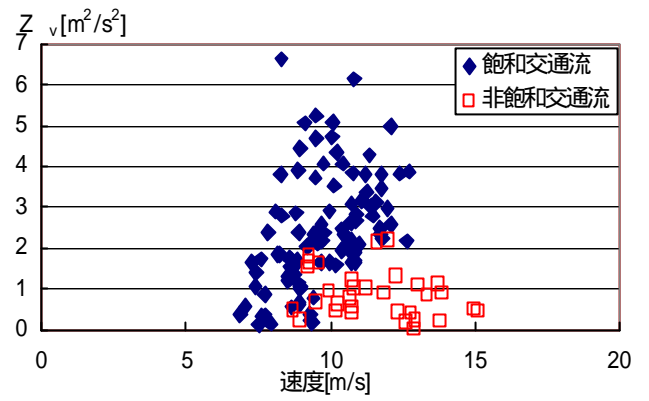


図-7 飽和と非飽和交通流時の  $Z_v$

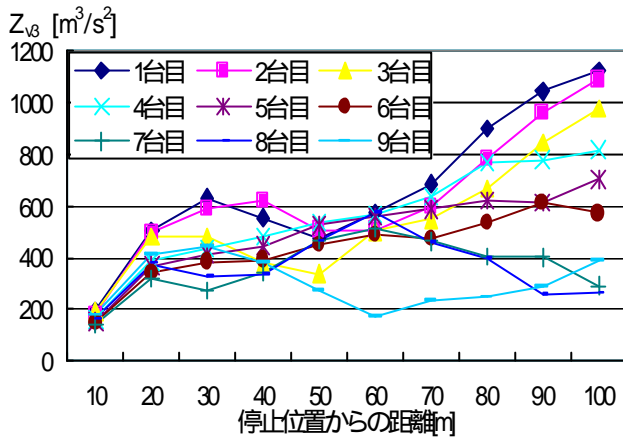


図-5 停止位置からの距離と  $Z_{v3}$

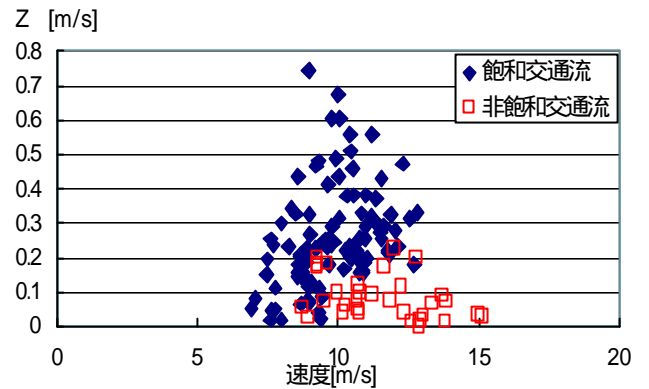


図-8 飽和と非飽和交通流時の Z

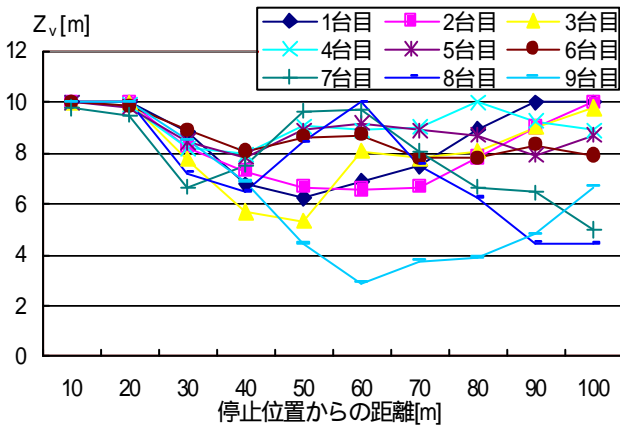


図-6 停止位置からの距離と  $Z_v$

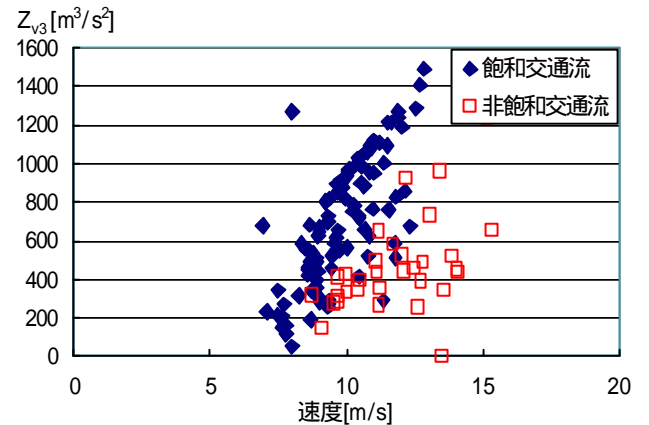


図-9 飽和と非飽和交通流時の  $Z_{v3}$

また、加速の影響範囲外 (40m~) においても  $Z_{av}$  が 0 になっていない事が確認できる。全く速度が変化しない定速走行であれば  $Z_{av}$  が 0 となるはずであり、定速走行中における速度変動の影響を表している。図-5 に同様に  $Z_{v3}$  との関係、図-6 に  $Z_v$  との関係を示す。これらより発進影響範囲外では、特に停止位置の待ち行列中の先頭車両に近づくほど値が大きくなり、このような傾向は定速走行状態においても、先行車の影響があるためであると考えられる。

## (2) 交通密度との関係

図-7 に、加速の影響範囲外 (交差点から下流 40m 以上) の定常走行状態において、飽和交通流率で走行している区間と平均到着率で走行している区間について、各車両の平均速度と 10m で正規化した  $Z_{av}$  の関係を示す。

図-8 に同様に  $Z_a$  との関係、図-9 に  $Z_{v3}$  との関係を図-10 に  $Z_v$  との関係を示す。表-1 には、それぞれの交通状態におけるデータ数と集計量  $Z_{av}$ 、 $Z_a$ 、 $Z_{v3}$ 、 $Z_v$ 、交通流率、交通密度の平均値と交通流率の分散を示す。

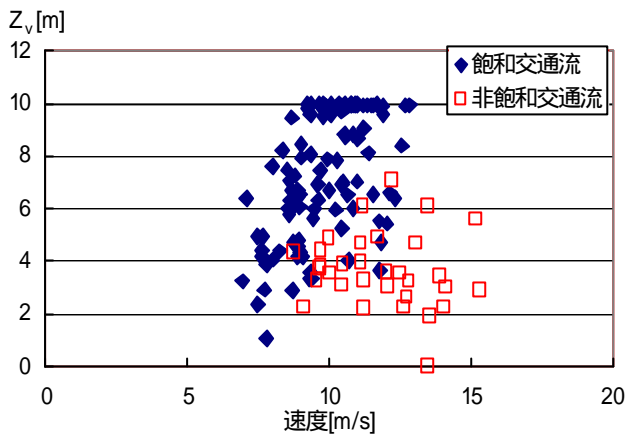


図-10 飽和と非飽和交通流時の  $Z_v$

これらより、定速走行状態においては、交通流の非飽和時には飽和時と比べて各集計値の傾向が明らかに異なることがわかる。これは、交通密度の違いによる影響が大きいと推察される。すなわち、飽和交通流中の交通密度の方が大きく、前方車両の影響を受けることにより車両の加減速、速度変動が大きくなるためであると考えられる。

飽和交通流時に  $Z_v$  の値が10に極めて近い値となっている場合が多く見られる。これは、対象区間で概ね加速傾向にあったことを示している。

## 5. まとめと今後の課題

本研究では、交差点周辺の車両軌跡をビデオ観測及び車両トラッキングにより取得し、車両軌跡より得られる環境負荷に関する諸量と交通状況との関係を示した。これらの分析により加速時の影響範囲や、交通密度の違いにより諸量が大きく異なることを示した。

上記の分析結果はマクロ交通流シミュレーションの結果から式(1)の推計式により環境負荷を推計する場合

表-1 各交通流時のデータ数と平均値

	飽和交通流	非飽和交通流
データ数	104	32
速度 [m/s]	9.843	11.818
$Z_{av}$ [ $m^2/s^2$ ]	2.371	0.926
$Z_a$ [m/s]	0.255	0.0866
$Z_{v3}$ [ $m^3/s^2$ ]	702.92	462.22
$Z_v$ [m]	7.253	3.673
交通流率	1597	832
交通流率の分散	17622	164275
交通密度	0.0462	0.0211

に適用できる。すなわち、巨視的シミュレーションでは細かい車両の挙動は再現できない。そこで、環境負荷の影響因子となる変量について、巨視的シミュレーションから得られる値を実際の軌跡から得られる値に合致するように補正する必要がある。本稿の結果を踏まえると巨視的シミュレーションの軌跡を用いて発進、定速走行等の状況ごとに時空間上で区分し、実軌跡と影響因子を比較し、それぞれの状況ごとに交通密度、速度、速度の分散等のマクロ指標により補正值する方法が考えられる。

もっとも、本稿では1交差点のみの走行軌跡による解析であるので、道路条件(車線数、縦断勾配、線形、車種構成など)による走行挙動の差異についてさらに検証する必要がある。今後は車線数が異なる地点など道路条件の異なるケースで調査・解析を行う予定である。また、交通密度の影響を調べるために飽和、不飽和の場合において交通量、交通密度が異なる場合も区分して分析をする必要があると考えている。

車両軌跡観測・解析上の問題としては、平滑化手法の高度化が挙げられる。すなわち、現在用いている平滑化手法では、停止、発進等の状況がある場合は車両が停止しているにもかかわらず後退しているように出力される場合があり、状況に応じて誤差分散値を変更する必要があるのではないかと考えられる。また、実際の軌跡を求める際に使用した射影変換、平滑化を実際の交通に適用した場合の精度の検証も必要である。

## 参考文献

- 1) 大口敬：「道路交通における燃料消費量推定方法に関する考察」、土木計画学研究・講演集、No.22(2)、pp.575-578、1999
- 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 (投稿中)
- 3) 中村良太：「複数のビデオカメラによる車両軌跡の連続観測システムの開発」、千葉工業大学大学院修士論文、1999