

②定常走行時

定常走行時については、走行距離が延びるほど比例的に大きくなる傾向がある。また、各指標はその途中の交通状況に大きく依存するが、その交通状況を表す重要な指標となるのが巡航速度 V_c である。従って、ここでは単位距離当たりの排出量推計指標値について、巡航速度 V_c との関係で記述する。

なお、定常走行状態については単位距離当たりとしてまとめるため、位置に関する情報は全て失われる。従って、その中間での排出強度の変化を考慮することはできず、仮に地点に依存する状況があるとしても、全て平均化される。

(1)距離項(Z_v , Z_{v3})について

図 6-23 の左図は、巡航速度 V_c と加速時単位距離当たり Z_v の関係を示したものである。速度の低下に伴いバラツキが大きくなり、速度変動の影響が大きくなっていることがわかる。巡航走行中の様々な事象が含まれているためバラツキが非常に大きいですが、ここでは平均的な値を推計するという観点から巡航速度 V_c との関係で記述する。図中、赤い点は巡航速度 1m/s のランク別に距離で重み付けた平均を求めたものであるが、個々のデータのバラツキにもかかわらず巡航速度との関係が明快に示されている。右図は単位距離当たり Z_{v3} を V_c^2 で正規化した値と巡航速度 V_c の関係を示したものである。 V_c^2 で正規化するのは、区間中巡航走行すると仮定すると単位距離当たりの Z_{v3} は V_c^2 に等しくなるためであり、正規化した値は概ね Z_v と等しくなるはずであるが、図中からもその傾向を見ることができる。

ここで導出された平均的な値に対して式を当てはめることも可能ではあるが、各速度ランク別の値としてそのまま用いることとする。

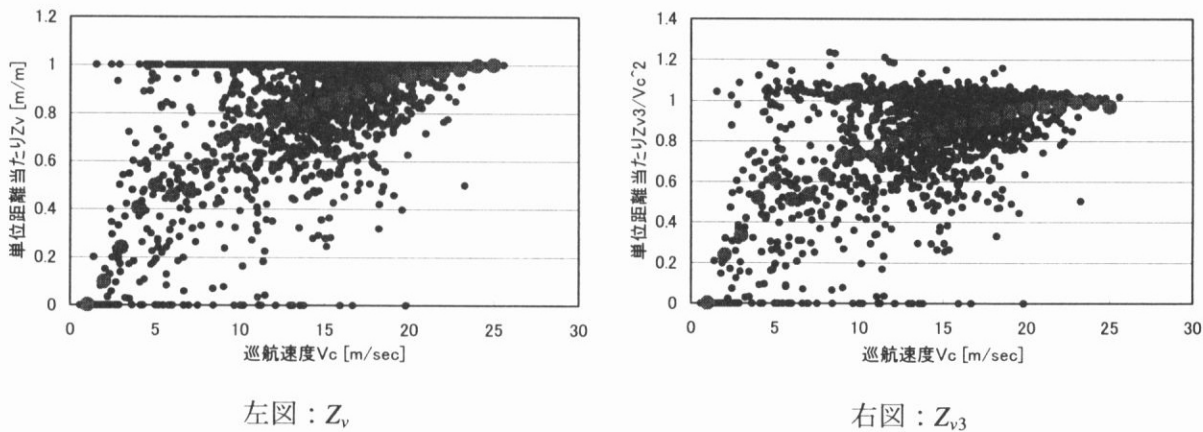


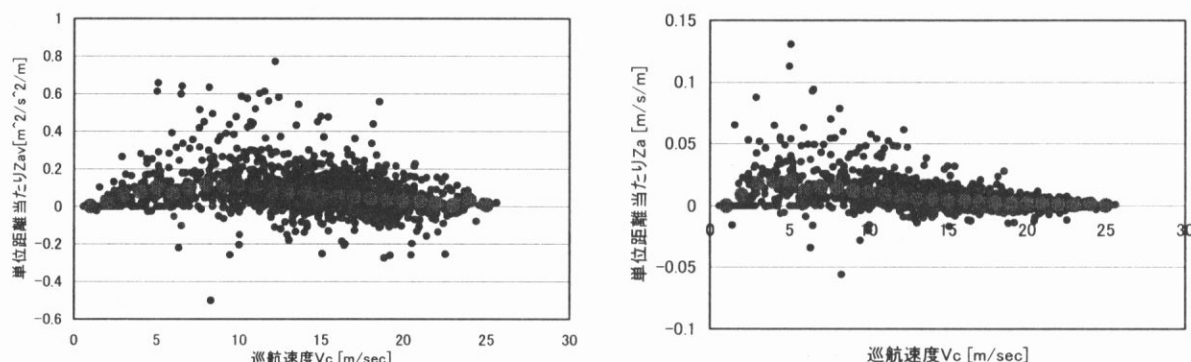
図 6-23 定常走行時の巡航速度 V_c と Z_v , Z_{v3} の関係

(2)速度変動項(Z_{av} , Z_a)

図 6-24 は、単位距離当たりの速度変動項(Z_{av} , Z_a)と巡航速度 V_c の関係を示したものである。これについても距離項同様バラツキが見られるが、巡航速度のランク別に平均化した赤い点からは明快的な関係が見られる。これを見ると、巡航速度に対して上に凸の関係となっている。これは、低速域では速度変動が大きいものの、低速域では Z_{av} , Z_a の値そのものが小さく、速度の増加とともに増加する。一方、

ある程度速度が増加すると、速度変動が小さくなることと、駆動走行中でも減速が生じ、 Z_{av} 、 Z_a が負の値を取る場合もあるため、平均としては小さい値となる。これら2つの効果により上に凸の関係となるものである。

なお、 Z_{av} 、 Z_a についても、距離項の Z_v 、 Z_{v3} 同様に、平均として得られた速度ランク別の値をそのまま用いる。



左図： Z_{av}

右図： Z_a

図6-24 定常走行時の巡航速度 V_c と Z_{av} 、 Z_a の関係

(3) 走行時間項(T_{r+} 、 T_{r-})

z_v と関連づけて簡略的にモデル化する。単位距離当たりの走行時間である t_{r+} 、 t_{r-} と z_v の関係を見ると、 z_v は

$$z_v = \frac{\int \delta v dt}{\int v dt}$$

であるが、定常走行状態で概ね $v \approx V_c$ であるとするならば、

$$z_v = \frac{v_c \int \delta dt}{v_c \int dt} = \frac{\int \delta dt}{\int dt} = t_{r+}$$

となる。また、

$$t_{r-} = 1.0 - t_{r+}$$

である。

従って、 t_{r+} 、 t_{r-} は z_v を用いて以下の通りモデル化できる。

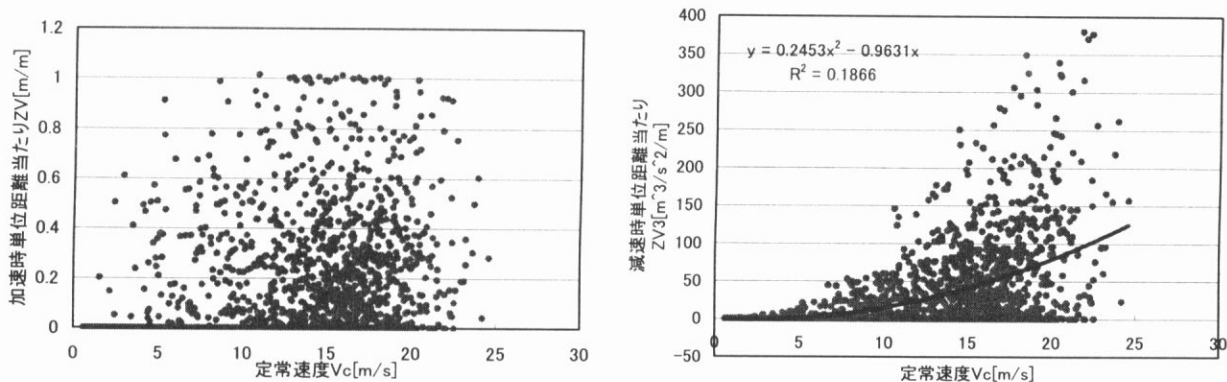
$$\text{単位距離当たり } T_{r+} : t_{r+} = t \cdot z_v \quad (6-39)$$

$$\text{単位距離当たり } T_{r-} : t_{r-} = t \cdot (1 - z_v) \quad (6-40)$$

③ 減速時

(1)距離項 (Z_v , Z_{v3})

図6-25は、 V_c と単位距離当たり Z_v , Z_{v3} の関係を示したものであるが、バラツキも大きく、明確な関係は見られない。基本的には $Z_v = 0$ (惰性走行) であるが、状況によっては駆動走行となっている。平均的な走行下における排出量を推計することを考えると平均値として設定することも考えられるが、基本的には減速時は惰性走行をしていること、下記の世界変動項に関する分析で示すとおり世界変動項が負側にばらつく傾向にあり、距離項と世界変動項が打ち消しあう方向にあることなどを考えると、無理に平均値を設定するよりもむしろ $Z_v = 0$, $Z_{v3} = 0$ としても大きな問題とはならないと考えられる。



左図： Z_v

右図： Z_{v3}

図6-25 巡航速度 V_c と単位距離当たり Z_v , Z_{v3} の関係

(2)速度変動項(Z_{av} , Z_a)

図6-26は、速度変動項 (Z_{av} , Z_a) について巡航速度 V_c との関係を見たものである。これも全体としてバラツキが大きい、総じて0か若干負側に位置しているようである。負側にばらつくのは、駆動走行を行っている状況下で減速される状況があることを示しており、特に減速開始状態にその状況が発生するものと考えられる。ただし、非常にバラツキの大きい現象であり、(1)の距離項のところでも述べたように距離項と打ち消しあう方向にあることから、無理に平均値を設定するよりも $Z_{av} = 0$, $Z_a = 0$ と設定しても大きな問題とはならないと考えられる。

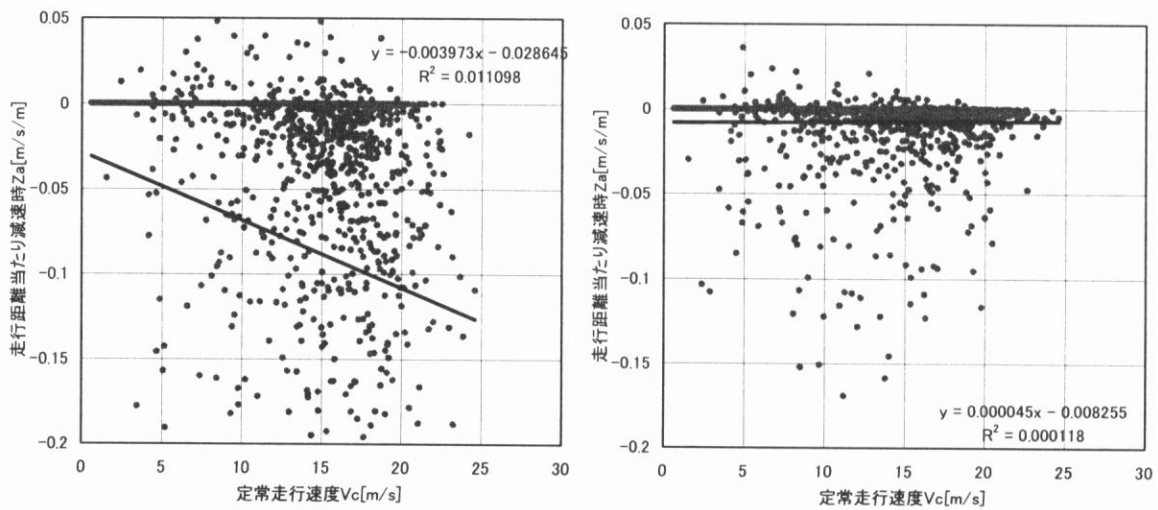


図6-26 巡航速度 V_c と単位距離当たり $Z_{\alpha v}$, Z_α の関係

(3) 走行時間項 (T_{r+} , T_{r-})

減速時については、距離項の Z_v の分析でも示したとおり、基本的には惰性走行（すなわち $Z_v = 0$ ）であるが、若干駆動走行を行っている状況が見受けられる。これを T_{r+} , T_{r-} の設定に当てはめて考えると、駆動走行を行っている時間比率を考慮して設定することになる。しかし、上記で示したとおり減速時はバラツキの大きい現象であるため、敢えて平均値を当てはめて設定するよりは、全区間惰性走行として考えるのが妥当であろう。このことから、ここでは、 $T_{r+} = 0$, T_{r-} は減速時間として設定する。

3) 各排出量推計指標の空間分布に関する分析及び空間分布モデルの設定

①基本的な分析の考え方及び正規化指標の導入

次に、各排出量推計指標の空間分布に関する分析を行い、空間分布を表現するためのモデルを設定する。ここでは、特に、空間分布が重要となる加速時、減速時を対象とする。定常走行時については全区間一様であるという前提があり、空間分布の推計に十分な情報が直線近似軌跡からは得られない。この際、加速時については加速開始位置を基準点とした加速区間、減速時については減速終了位置を基準点とした減速区間を対象とする。

上記のモード毎の分析で示されたとおり、各推計指標は初速、終速から比較的精度良く推計できる。そこで、以下の分析では、加減速区間長、及び加減速区間内での各推計指標値を用いて正規化し、正規化指標を用いて空間分布をモデル化する。

以下、正規化指標を用いた分析の方法について説明を加える。まず、空間分布の集計単位として、加速（減速）区間の距離 x_a を n 個の集計区間に分割した単位 x_a/n を考える。この場合、加速開始位置（あるいは減速終了位置）から i 番目の集計区間は

$$\left[\frac{i-1}{n} x_a, \frac{i}{n} x_a \right] \quad (6-41)$$

の区間となる。さらに、加速開始位置あるいは減速終了位置からの距離を加速・減速区間長 x_a で割ることにより、加速終了位置（あるいは減速開始位置）が 1 となるように正規化される。これを正規化距離と定義する。 i 番目の集計区間は正規化距離で表すと以下の通りとなる。

$$\left[\frac{i-1}{n}, \frac{i}{n} \right] \quad (6-42)$$

次に、排出量推計指標の正規化について説明する。以下の説明では排出量推計指標 Z_{av} を取り上げて説明するが、その他の指標についても同様である。加速・減速区間内での集計量を Z_{Aav} 、そのうち i 番目集計区間における集計量を $Z_{Aav}(i)$ と表す。ここで、 $Z_{Aav}(i)$ を Z_{Aav} で除した値を正規化指標と定義し、 $z_{av}(i)$ とする。すなわち、

$$z_{Aav}(i) = \frac{Z_{Aav}(i)}{Z_{Aav}} \quad (6-43)$$

であるが、

$$Z_{Aav}(i) = \sum_{i=1}^n Z_{Aav}(i) \quad (6-44)$$

であるから、

$$\sum_{i=1}^n z_{Aav}(i) = 1 \quad (6-45)$$

となる。なお、正規化指標と加速・減速区間の集計量が得られていれば、集計区間 i の集計量は以下の通り算出することができる。

$$Z_{Aav}(i) = z_{Aav}(i) \cdot Z_{Aav}, \text{ 但し、集計区間 } i \left[\frac{i-1}{n} x_a, \frac{i}{n} x_a \right]. \quad (6-46)$$

この場合、加速・減速区間長によって集計区間の距離が異なってくることに注意が必要である。そのため、集計区間数の設定によって空間集計距離が決定される。空間集計距離と精度はトレードオフの関係にあると考えられ、集計区間数が多くなれば空間集計距離が詳細になるが、精度は低下するであろう。ここで、10m 程度の空間集計距離を対象とすることを考えると、加速区間の距離が概ね 300m 位までの区間になることから、集計区間数は $n = 10 \sim 20$ 程度となる。以下では当面、 $n = 10$ として分析を進める。

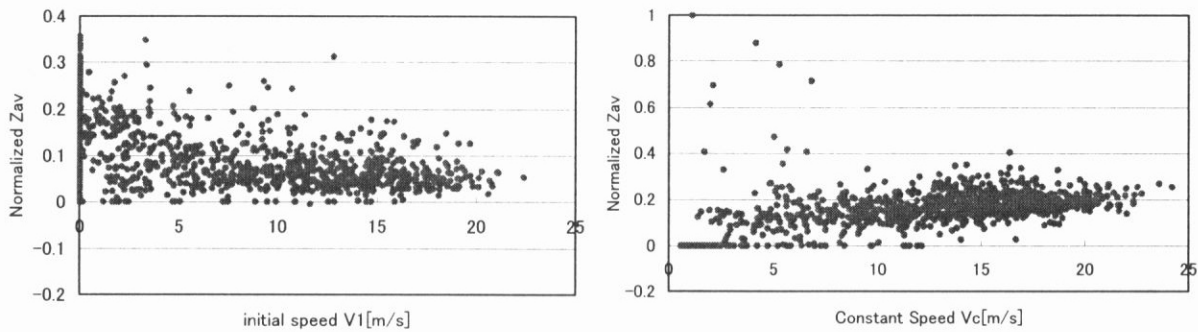
正規化することによって、①加速・減速区間での集計量については初速・終速から比較的高い精度で推定できることにより推計指標の総量の整合性を確保できること、②実際には加速・減速距離はばらついているが、距離で正規化することによりその影響を除去して分析することが可能となること、などのメリットがある。

なお、以下で空間分布を分析するのは、加速時の Z_{v3} 、 Z_{av} 、 Z_a 及び T_{r+} 、また減速時の T_r である。加速時については Z_v は全区間駆動走行で 1 になるとすれば空間分布は考慮しなくてよい。同様に加速時の T_r 及び減速時の他の指標は全区間で 0 になるとすれば空間分布は考慮しなくてよい。

①加速時

(1) Z_{av}

空間分布モデルを設定する場合、初速度・終速度別で記述することができれば大変便利であるが、ある程度の精度が確保される（つまり、バラツキがそれほど大きくない）ことを確認する必要がある。図 6-27 でその一例を示す。左図は、集計区間 $i = 1$ （正規化距離帯[0,0.1]）において正規化された $z_{av}(1)$ と初速度 v_1 の関係、右図は $v_1 = 0[\text{m/s}]$ における終速度（巡航速度） v_c との関係を示したものである。左図については様々な終速度のデータが含まれており若干バラツキが大きいが初速度が大きいと正規化指標が小さくなる様子が見られる。また、右図では終速度が大きいと正規化指標も大きくなる状況を示しており、低速域に若干バラツキがあるものの、比較的バラツキの小さい明確な関係が見られる。なお、このデータは、終速度によって発進段階の加速特性が異なることを示している。これは、到達可能な終速度は道路条件や交通量などによって規定されるが、比較的高い速度まで到達できるような道路交通条件下では発進段階から高加速度でスムーズな発進ができるためであると考えられる（注：下図は正規化指標による正規化距離区間の値であり、上記の議論は直接的には言えないが、正規化していないデータでも同様のことが言える。）



左図：初速度 V_1 と正規化 z_{av} の関係

右図：終速度（巡航速度） V_c と正規化 z_{av} の関係

図 6-27 速度と正規化 z_{av} の関係

上記を踏まえ、初速度 V_1 ・終速度 V_c について、それぞれ 10km/h 速度ランクで区分し、正規化距離帯毎に正規化指標 $z_{Aav}(i)$ を求めた。推計に当たっては、対象区分に含まれるデータの平均として推計する。なお、性質が異なるデータの影響を除外するため、集計区間毎に平均値及び標準偏差 σ を求め、平均値 $\pm 2\sigma$ に含まれないデータを異常値として、1 以上の距離帯に異常値が含まれている軌跡を除外した。結果の一例として、 $V_1=0, 10, 30, 50\text{km/h}$ の場合の算出結果を図 6-28 に示す。5 章での議論でも示したとおり、 z_{av} は距離帯別の加速度の分布を示すものであるが、初速度、終速度で比較的兴趣深い関係が現れている。初速度が低く、終速度が高いほど加速区間の開始位置のピークがある。一方、概ね初速度が高く、終速度が低くなるほどピークが距離帯の中間に移動している。これは、初速度が高いほど加速を開始してから実際に加速度が上昇するまでの間に進む距離が長いためである。なお、正規化スケールでは実際の値の違いが見えにくいため、 $V_1=0$ の場合について実距離と実 z_{av} の値で示したものが図 6-29 である。なお、実距離、実 z_{av} については前項で提案したモデル式(6-37)、式(6-38)を用いている。速度の増加に伴い、影響区間（加速区間）が大きくなるとともに、発進位置から近いところも含めて全体的に値が大きくなることからわかる。

また、表 6-2 に、 $V_1=0$ の場合について $z_{Aav}(i)$ の推計値と変動係数 (σ/μ) の関係を示す。変動係数は速度帯によってかなり差があり、低速度域では比較的大きなバラツキ、高速度域では比較的小さい。低速域でバラツキが大きいのは、状況依存性が高く、様々な状況が発生するためであると考えられる。ただ、空間分布の推計上重要となるような高速域の発進段階などでは比較的小さい。精度上の問題は小さいといえる。

なお、ここではモデル式の当てはめによる定式化はあえて行わず、パラメータテーブルとして保持することとする。もちろんモデル式を当てはめることも考えられ、式の方が扱いやすいが、①モデル式を作成するとしても単なる式の当てはめであり、理論的根拠を持ち得ないこと（追従モデル等から理論的根拠に基づくモデルを生成することもできるかもしれないが、空間分布を実観測に基づき忠実に再現しようとする立場からは得策ではない）、②モデル式を作成した場合、その式形に依存した誤差が生ずる

こと、などのデメリットがある。また、保持すべきパラメータは集計区間数を $n = 10$ 、速度帯を $0 \sim 80 \text{ km/h}$ とするならば、一つの推計指標について $9 \times 8 / 2 \times 10 = 360$ 個であり、現在の計算機能力を考えればそれほど多い記憶量ではない。ただ、欠点として、得られたデータに依存する偏りが発生する恐れがある（特にデータ数が少ないところ）ことが挙げられるため、注意を払う必要があろう。

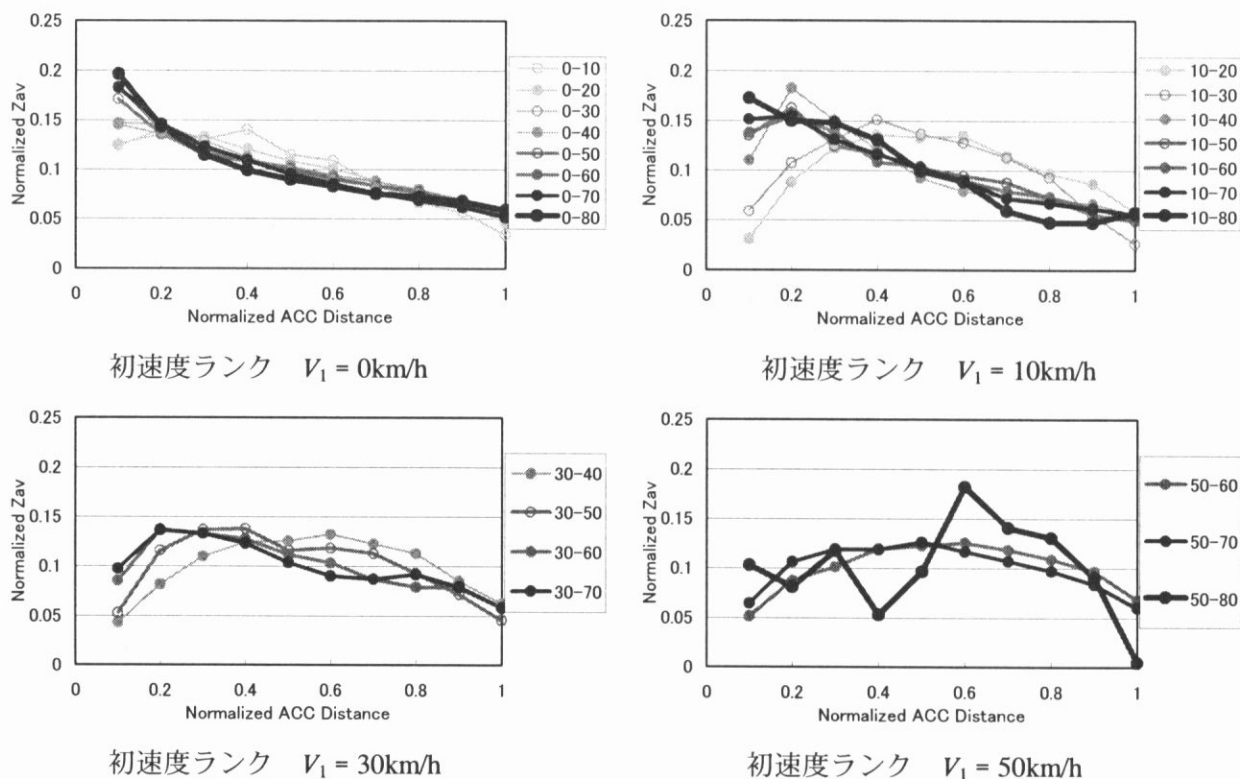


図 6-28 距離帯別の排出量推計指標分布 (Z_{av})

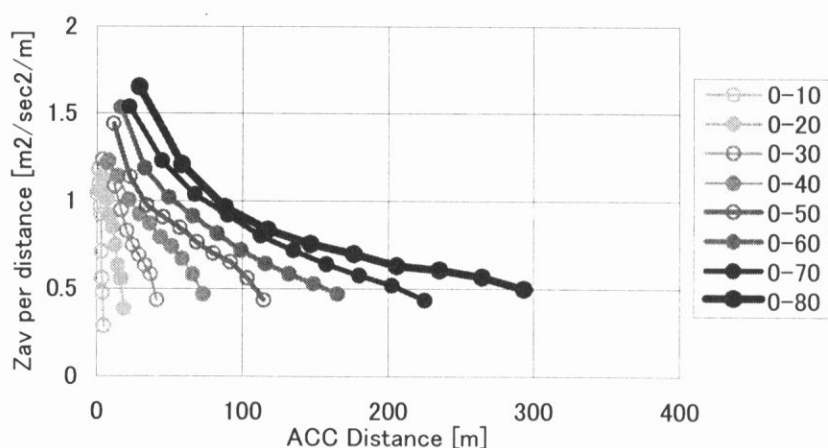


図 6-29 Z_{av} の空間分布（実距離，実指標値に変換，但し Z_{av} は単位距離当たり）

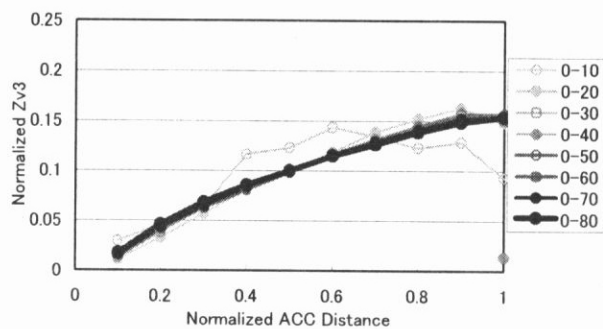
表 6-2 距離帯別パラメータと変動係数 (Z_{av})

	initial-final speed [km/h]	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Estimated	0-10	0.124	0.140	0.130	0.140	0.115	0.109	0.084	0.066	0.056	0.034
	0-20	0.126	0.135	0.133	0.120	0.109	0.101	0.089	0.075	0.066	0.046
	0-30	0.147	0.146	0.129	0.113	0.098	0.089	0.082	0.075	0.069	0.052
	0-40	0.145	0.136	0.119	0.110	0.103	0.094	0.088	0.080	0.069	0.056
	0-50	0.171	0.135	0.116	0.108	0.101	0.091	0.083	0.077	0.067	0.052
	0-60	0.183	0.141	0.121	0.108	0.096	0.085	0.076	0.070	0.063	0.056
	0-70	0.183	0.146	0.123	0.109	0.095	0.085	0.076	0.068	0.062	0.052
	0-80	0.196	0.144	0.115	0.099	0.090	0.083	0.075	0.072	0.067	0.059
	0-10	136.2%	57.2%	63.3%	64.2%	49.5%	59.9%	69.5%	74.3%	83.6%	96.9%
	0-20	54.6%	35.2%	28.9%	25.3%	31.3%	34.1%	37.3%	44.3%	47.0%	60.2%
CV	0-30	30.8%	24.4%	24.2%	29.6%	30.8%	30.9%	28.5%	35.8%	47.1%	59.3%
	0-40	25.4%	23.1%	27.1%	24.2%	23.3%	25.7%	23.6%	27.7%	32.6%	45.9%
	0-50	26.7%	30.1%	28.8%	27.5%	28.2%	28.8%	31.3%	37.2%	39.3%	51.3%
	0-60	20.3%	21.7%	19.6%	23.1%	25.7%	27.6%	24.6%	28.6%	33.9%	38.2%
	0-70	15.9%	18.6%	16.6%	17.0%	19.4%	19.7%	20.7%	22.1%	24.8%	30.0%
	0-80	19.3%	10.9%	13.9%	17.5%	15.1%	19.3%	18.8%	10.0%	16.6%	23.3%

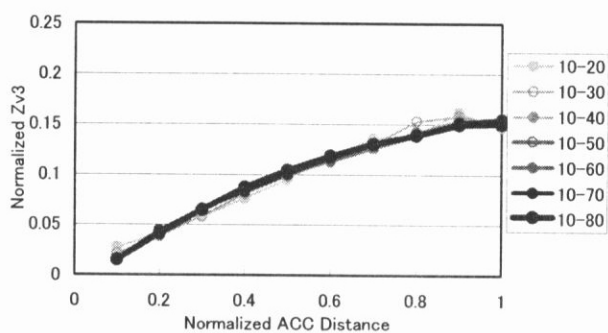
(2) Z_{v3}

正規化した z_{v3} について、上記と同様に推定した結果を図 6-30 に示す。なお、 z_{v3} についても同じ V_1 の速度ランクにおける V_c の違いが見られるが、初速度 V_1 が低速の場合は V_c による差は極めて小さい。同じく $V_1=0$ の場合について実距離と実 Z_{v3} の値で示したものが図 6-31 である。実距離、実 Z_{v3} については前項で提案したモデル式(6-34)、式(6-36)を用いている。速度に比例して実距離、 Z_{v3} も大きくなっている。なお、4 章、5 章でも示したとおり Z_{v3} は高速域になって卓越する項であり、低・中速域では寄与は極めて低い。従って、実用上は図 6-31 を見る限り距離に関する直線近似でも十分であろう。

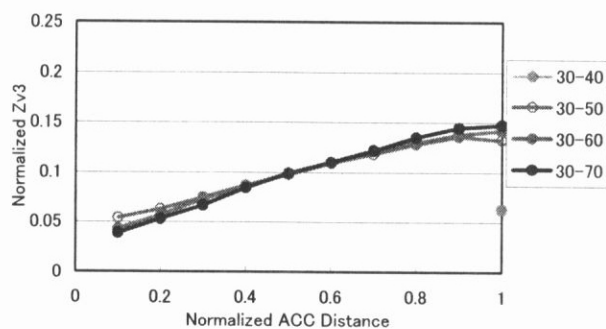
また、詳細は省略するが、本ケースの場合にも低速時を除き、変動係数は概ね 10~30% 程度である。ただ、低速時には若干ばらつく傾向にある。



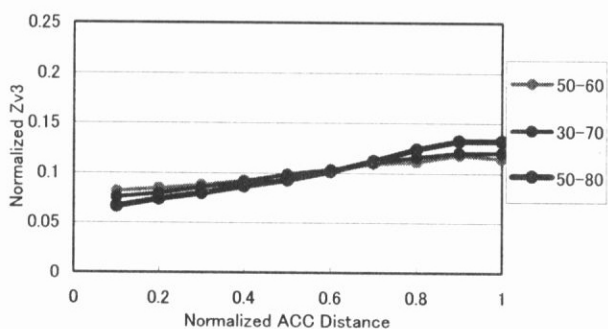
初速度ランク $V_1 = 0\text{km/h}$



初速度ランク $V_1 = 10\text{km/h}$



初速度ランク $V_1 = 30\text{km/h}$



初速度ランク $V_1 = 50\text{km/h}$

図 6 - 3 0 距離帯別の排出量推計指標分布 (Z_{v3})

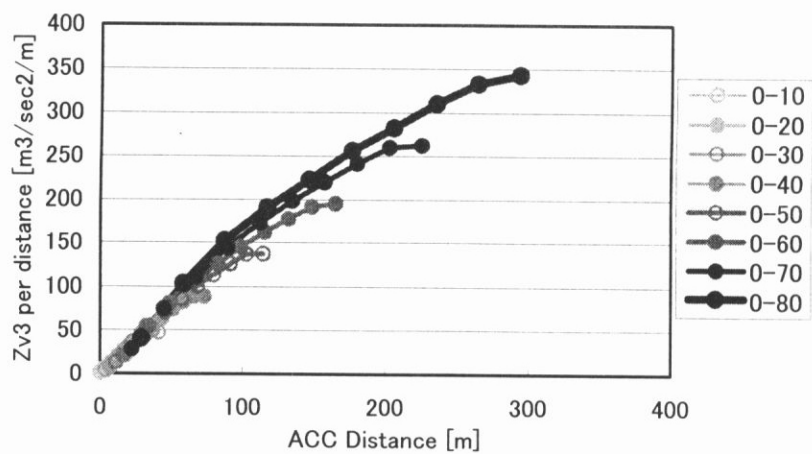
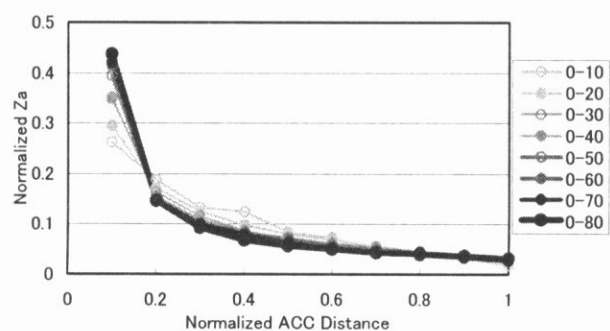


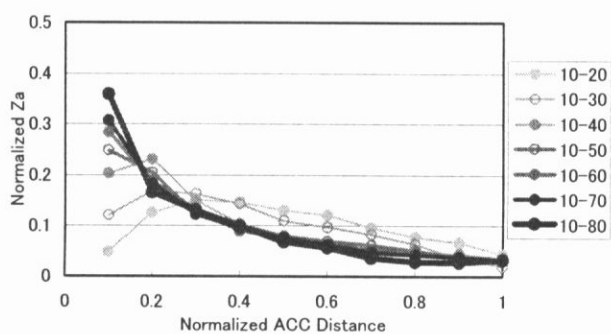
図 6 - 3 1 Z_{v3} の空間分布 (実距離, 実指標値に変換, 但し Z_{v3} は単位距離当たり)

(3) Z_a

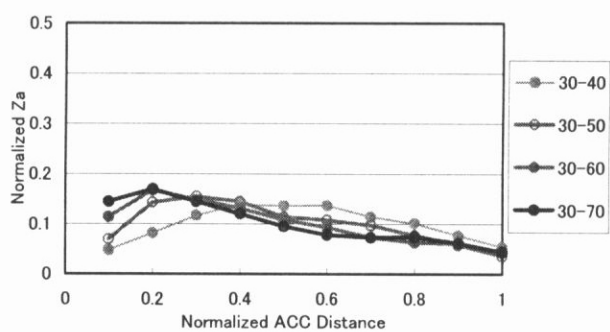
正規化した Z_a について、上記と同様に推定した結果を図 6-32 に示す。この指標は低速域での発進時に特に影響がある指標であり、特に停止時（初速度 $V_1=0\text{km/h}$ ）の発進時に特に卓越する状況が見られる。逆に、初速度 $V_1=30,50\text{km/h}$ といったところでは、元々の速度が高いため、距離帯によらずほぼフラットである。また、正規化していない実際の値もそれほど大きくはない。また、 $V_1=0$ の場合について実距離と実 Z_a の値を示した図 6-33 を見ても、発進位置近傍のみで大きな値となる。なお、図 6-33 で終速度が低い方が大きくなっているが、これは終速度が大きい場合には長い距離で平均化されているためであり、実際には高速時の方が発進直後には大きくなっていると考えられる。これは、集計単位の分割区間数固定、すなわち集計区間が加速区間長に比例するように設定していることの弊害であるが、加速区間長にあわせて分割区間数を変更させる、集計区間長を推計指標値のレベルにあわせて変更させる等の措置を行うことによりこれらの問題には対処可能である。



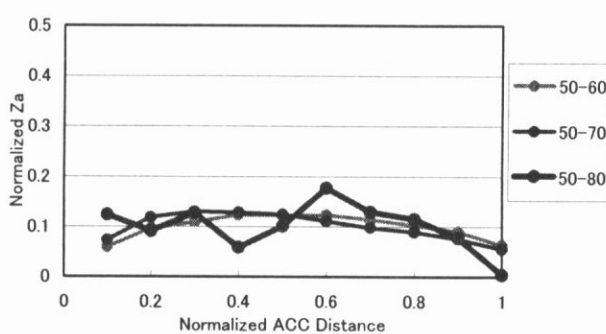
初速度ランク $V_1 = 0\text{km/h}$



初速度ランク $V_1 = 10\text{km/h}$



初速度ランク $V_1 = 30\text{km/h}$



初速度ランク $V_1 = 50\text{km/h}$

図 6 - 3 2 距離帯別の排出量推計指標分布 (Z_a)

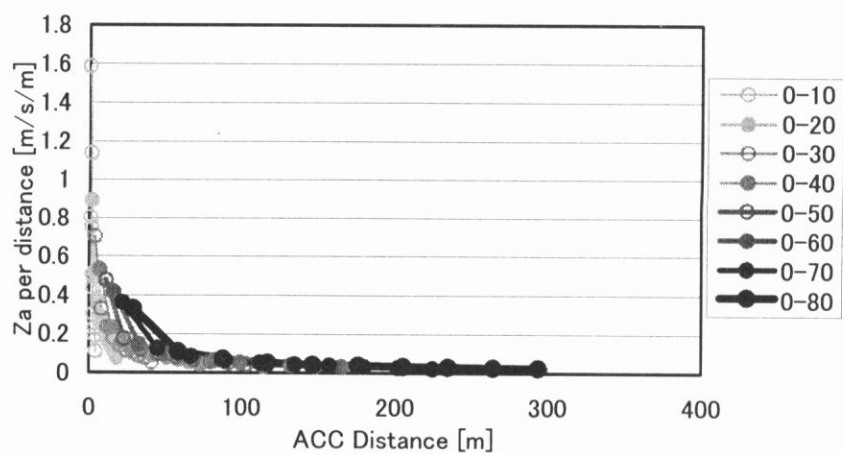
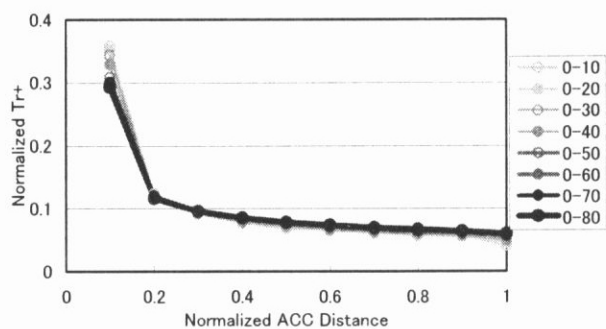


図 6 - 3 3 Z_a の空間分布 (実距離, 実指標値に変換, 但し Z_a は単位距離当たり)

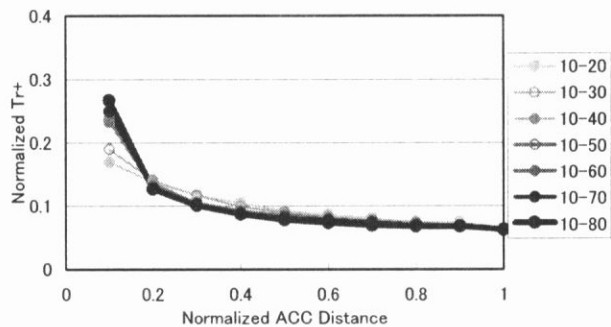
(3) $T_{r,i}$

正規化した $T_{r,i}$ について、上記と同様に推定した結果を図 6-34 に示す。これは、速度の逆数であるので、低速域のみで極端に大きくなるが、高速になるにつれて急激に減少する。従って、初速度 $V_1=30,50\text{km/h}$ といったところでは、距離帯によらずほぼフラットである。これは、全区間に渡って同じような速度変動をしているためであると考えられる。また、 $T_{r,i}$ の推定値がその他の指標値に比べてももっともバラツキが小さく、変動係数で概ね 10% 前後に収まっている。

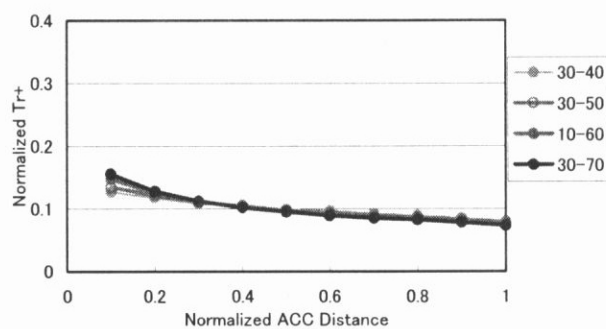
また、 $V_1=0$ の場合について実距離と実 $T_{r,i}$ の値を示した図 6-35 を見ても、発進位置近傍のみで大きな値となる。なお、終速度が低いときの方が発進位置近傍で大きくなっているが、この原因は上記の Z_a の場合の議論と同じであり、集計区間に対する工夫で対処できよう。



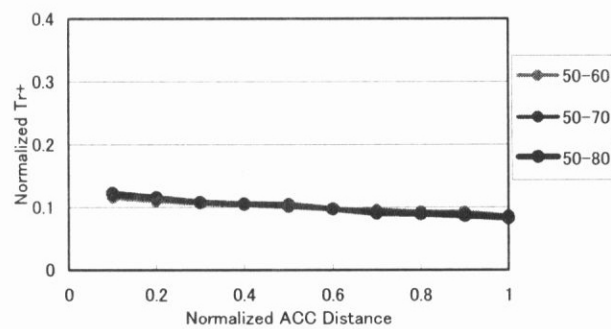
初速度ランク $V_1 = 0\text{km/h}$



初速度ランク $V_1 = 10\text{km/h}$



初速度ランク $V_1 = 30\text{km/h}$



初速度ランク $V_1 = 50\text{km/h}$

図 6 - 3 4 距離帯別の排出量推計指標分布 (T_{r+})

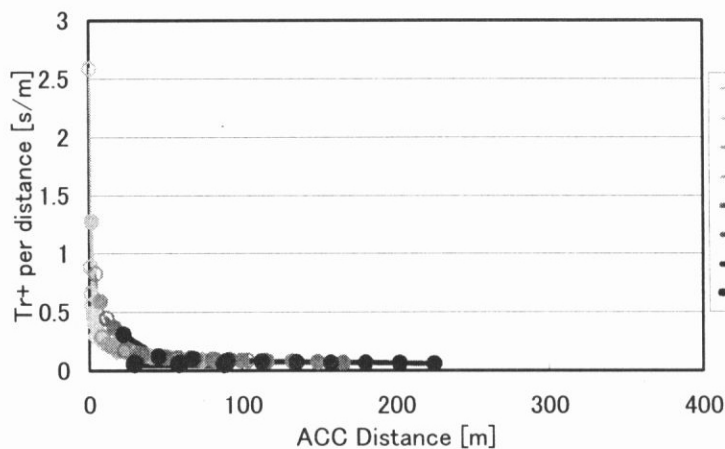
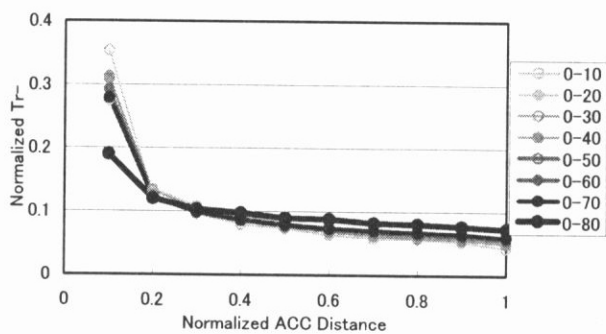


図 6 - 3 5 T_{r+} の空間分布 (実距離, 実指標値に変換, 但し T_{r+} は単位距離当たり)

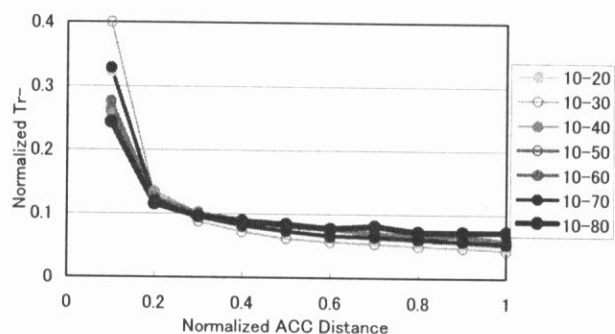
②減速時

ここでは T_{r-} を対象とする。正規化した T_{r-} について、終速度別に分析した結果を図 6-36 に示す。なお、図上、正規化距離が原点に近い方が減速終了位置であり、距離軸上の車両進行方向が加速時のグラフと逆となっている。これを見ると、同じ速度変化の逆数であるにもかかわらず、 T_{r+} の場合とは若干特徴が異なることがわかる。特に、減速終了位置直前でいずれも正規化指標が大きくなっていることから、減速に移行してから緩やかに減速し、減速終了直前で大きく減速を行っている様子が窺える。また、加速時の分析に比べて、異なる初速度・終速度の場合の速度間の序列が必ずしも整合していない。これは、現象としてのバラツキの大きさによるもので、変動係数で見ると数 10%，最大で 50% 程度のバラツキとなる。これは、 T_{r+} の場合と比較してもかなり大きい。しかしながら、排出量推計モデルのパラメータを見ると T_{r-} の寄与はそれほど大きくないため、実用上はあまり大きな問題とはならないと考えられる。

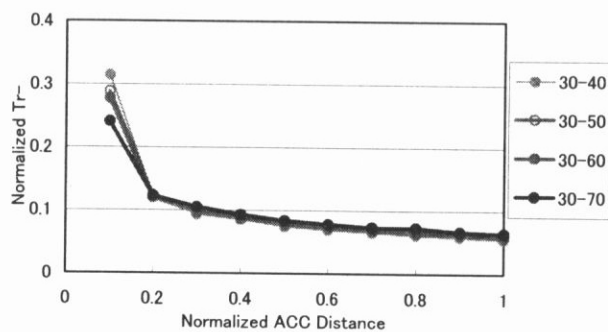
また、図 6-37 は終速度 $V_1=0$ の場合の単位距離当たり T_{r-} の空間分布を実距離、実指標値に変換したものである。いずれにしても減速終了位置近傍で非常に大きな値となっていることが窺える。



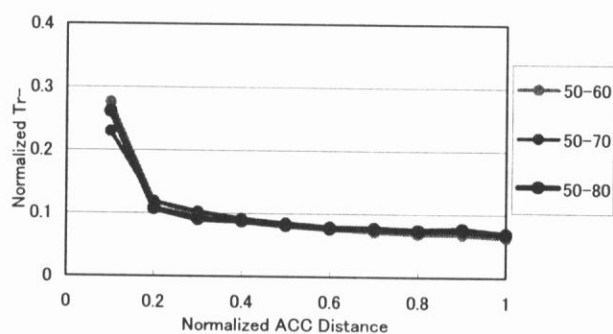
終速度ランク $V_1 = 0\text{km/h}$



終速度ランク $V_1 = 10\text{km/h}$



終速度ランク $V_1 = 30\text{km/h}$



終速度ランク $V_1 = 50\text{km/h}$

図 6 - 3 6 距離帯別の排出量推計指標分布 (T_{r-})

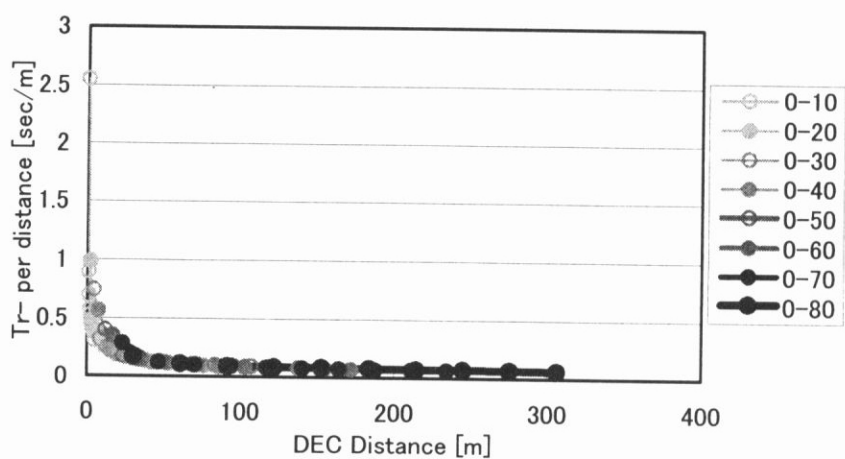


図 6 - 3 7 T_{r-} の空間分布 (実距離, 実指標値に変換, 但し T_{r-} は単位距離当たり)

6. 4 排出量推計指標変換モデルを用いた排出量推計

6. 4. 1 距離帯別排出量推計指標の推計手順の整理

6. 3で設定した排出量推計指標の変換モデルを踏まえ、以下の通り排出量推計手順を整理する。

なお、以下において最終的に排出量を推計する集計単位を「排出量推計単位」と定義し、それぞれの区間を「排出量推計区間」ということとする。排出量推計単位は推計対象となる施策や目的に応じて適宜設定されるものである。例えば、最終的に排出ガスの拡散モデルと組み合わせてより詳細な濃度分布を推計したいのであれば、空間集計距離は10m単位など詳細に設定する必要があるだろうし、広域的な交通施策評価による交差点周辺での排出量の増減を評価するのであれば交差点近傍の数十～数百mとその他の区間という設定もあろう。また、シミュレーションモデルのリンク単位という設定方法もあろう。排出量推計単位の設定は比較的自由度があるが、本研究で提案するモデルでは50～100m程度、もっとも詳細な場合でも10m程度の空間集計距離で排出量推計単位が設定されることを前提とする。

以下に、1台の車両について直線近似された走行軌跡が得られている前提で、排出量推計のフローを示す。

Step 1. 直線近似された車両軌跡より、加速・減速・定常走行・停止の各区間を設定する。

(6. 2. 2で示した手順による)

Step 2. 加速・減速区間について、

Step2-1. 初速度 V_1 、終速度 V_2 に基づき、加速・減速区間における集計量（加速時： Z_{Av} 、 Z_{Av3} 、 Z_{Aav} 、 Z_{Aa} 、 T_{r+} 、減速時： T_{r-} ）を推計式等により算出。

Step2-2. 加速時の Z_{Av3} 、 Z_{Aav} 、 Z_{Aa} 、 T_{r+} 及び減速時の T_{r-} については、初速度 V_1 、終速度 V_2 に基づき、加速・減速区間における空間分布の正規化量（加速時： $z_{Av}(i)$ 、 $z_{Av3}(i)$ 、 $z_{Aav}(i)$ 、 $z_{Aa}(i)$ 、 $t_{r+}(i)$ 、減速時： $t_{r-}(i)$ ）を推計テーブルより算出。

Step2-3. Step2-1 で求めた加速・減速区間の集計量、Step2-2 で求めた空間分布の正規化量、及び加速・減速距離 x_a を用いて、集計区間別の排出量推計指標を算出。

$$Z_{Av3}(i) = z_{Av3}(i) \cdot Z_{Av3},$$

$$Z_{Aav}(i) = z_{Aav}(i) \cdot Z_{Aav},$$

$$Z_{Aa}(i) = z_{Aa}(i) \cdot Z_{Aa},$$

$$T_{r+}(i) = t_{r+}(i) \cdot T_{r+},$$

$$T_{r-}(i) = t_{r-}(i) \cdot T_{r-},$$

但し、いずれも加速・減速時集計区間 $i \left[\frac{i-1}{n} x_a, \frac{i}{n} x_a \right]$

Step2-4. Step2-3 で求めた加速・減速時集計区間別の排出量推計指標を対応する排出量推計単位の区間毎に足し込む。加速・減速時集計区間と全体の集計区間が異なる場合は、距離の比率で配分する。

Step 3. 定常走行区間について、

Step 3-1. 定常走行速度 V_c に基づき、定常走行時の単位距離当たり排出量推計指標 (Z_{Cv} , Z_{Cv3} , Z_{Cav} , Z_{Cav} , T_{r+} , T_{r-}) を算出。

Step 3-2. Step3-1 で求めた単位距離当たり排出量推計指標に排出量推計単位のうち定常走行区間に重なる区間に対してその区間長を乗じ、排出量推計区間毎に足し込む。

Step 4. 停止区間について、対応する停止位置に該当する排出量推計区間に、停止時間 T_i を足し込む。

Step 5. 排出量推計区間毎に、得られた排出量推計指標を用いて、4章で提案した排出量推計モデルに代入して排出量を推計する。排出量推計モデルのパラメータは当該車種のものを用いる。

これらの手順を、対象とする全ての車両について実行する。なお、集計対象時間内に同じ排出量推計モデルのパラメータが適用できる場合（車種構成等を考慮して合成パラメータを生成した場合も含む）には、複数の車両について排出量推計区間毎に排出量推計指標を算出した後に、排出量推計モデルに適用することができる。

6. 5 実データを用いた排出量の算出及びモデルパフォーマンスの検証

6. 5. 1 対象データ及び設定条件

ここでは、実際の車両の走行軌跡データ及び排出量データを用いて、提案した手法を用いた排出量推計例を示し、モデルパフォーマンスについて検証を行う。

ここでは、4章で紹介したシャシダイナモ台上試験のデータ（実走行モードで走行・測定されているもの）を用いて、記録された車両の走行パターン（速度プロファイル）から直線近似された車両軌跡を生成する。この軌跡を提案モデルのインプットデータとして用い、加速・減速・定常走行・停止の各 구간を設定し、排出量推計指標の空間分布を算出する。この結果を4章で提案した排出量推計モデルに代入して排出量を推計し、シャシダイナモ試験の結果と比較・検証する。

なお、対象車種として4章でパラメータ推計を行った車両のうち、比較的精度の良好であった車両2を取り上げる。また、NO_xの排出量を対象とする。また、排出量推計単位としては10mを設定し、モード（トリップ）先頭から10m単位で推計することとした。

具体的に、ある走行モードの例（土木研究所モード TN-2）を取り上げて、その特徴を見てみよう。対象とする車両軌跡の time-space 図を図6-38に、time-velocity 関係を図6-39に示す通りである。次に、この車両軌跡から、6.3の実データの解析の項で説明した手順に従って線形近似された走行軌跡を作成する。作成された車両軌跡は同じく図6-38、39上に示している。time-space 上ではほぼ重なっており、停止位置や定常走行時の走行位置は実軌跡を再現している状態を表している。このように、time-space 上で実軌跡を正確に再現しているように見えても、time-velocity 上では加減速挙動が全く再現されていない状況であることがわかる。

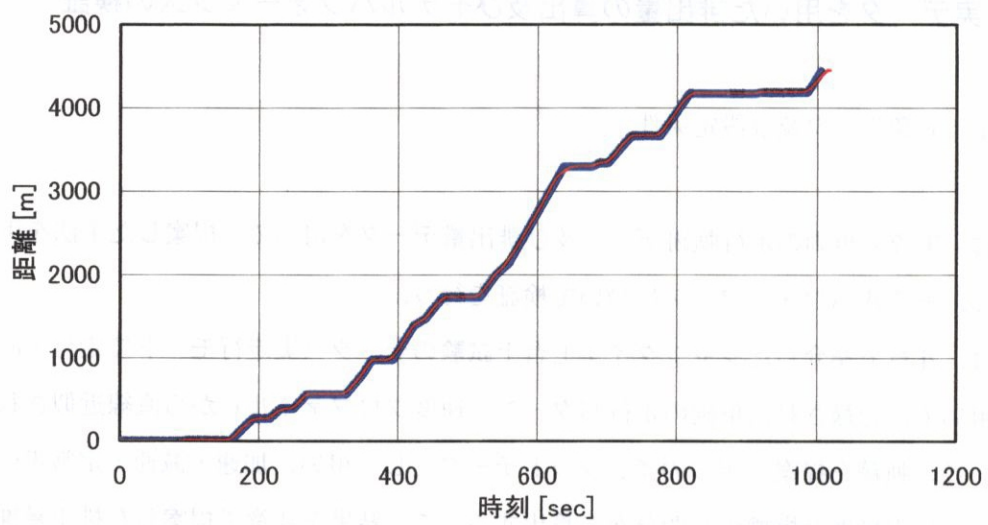


図 6－3 8 実軌跡（赤細線）と直線近似された走行軌跡（青太線）の関係（time-space 図）

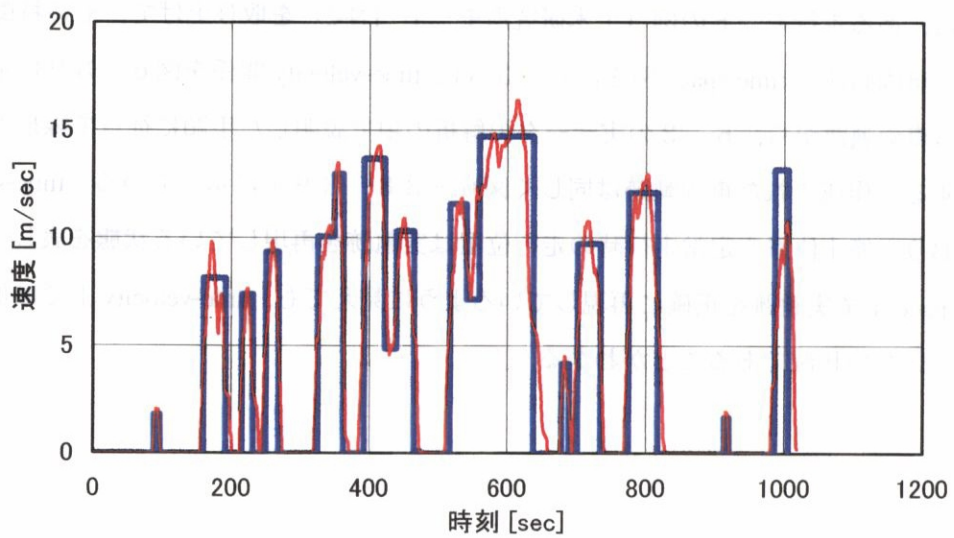


図 6－3 9 実軌跡（赤細線）と直線近似された走行軌跡（青太線）の関係（time-velocity 図）

6. 5. 2 推計結果

NO_x 排出量の空間分布の推計結果を図 6-40 に、各排出量推計指標の推計結果を図 6-41～47 に示す。

NO_x 排出量の推計結果については、高負荷となる地点の排出強度、及びその周辺の空間分布など、比較的高い再現性を確保していると言えよう。いくつか特徴的な点を以下に挙げる。

- ・ 高負荷の地点となる排出強度の再現性は非常に高い。これは、インプットとして与えた直線近似軌跡について、停止位置及び停止位置における遅れ時間（停止時間ではない）が比較的正確に与えられていることによる部分が多い。
- ・ 停止位置周辺の排出強度及びその空間分布についても平均的に見ると比較的良好に再現しているといえる。この部分の再現性は、加減速区間における空間分布を考慮した本提案手法の有効性を示す部分であると言える。実際の排出特性を見ると揺らぎが見られるが、あくまでも平均的な空間分布を再現することを目標とするならば、実用上十分な再現性であるといえる。
- ・ 定常走行時の排出量についてみると、平均的には再現されているように見受けられるが、定常走行区間内の速度変動に伴う排出量の増加は再現できない。これは、走行軌跡からこれらの変動を再現するための情報が得られないためである。もし、これらの変動が車両の追従挙動によるものであれば、複数の車両について区間全体を平均化した場合には全体として平均化されるため、それほど大きな誤差とはならないであろう。しかし、この速度変動の要因が直線近似軌跡で捉え切れていない地点依存の原因によるもの（例えば、駐車車両の存在など）であれば、その部分で常に一定の速度低下及び加速が生じることになり、大きな誤差要因となりうる。いずれにしても、直線近似軌跡の段階で捉えられていない速度変動要因は反映されないため、これらを再現するためには交通モデル側で何らかの考慮をする必要がある。

また、各排出量推計指標の推計結果について挙げられる特徴を以下に示す。

- ・ 距離項(Z_v , Z_{v3})についてみると、加速時の再現性は比較的高い。一方、定常走行区間においてかなりのズレが見られる。実際の走行では小刻みに駆動走行、惰性走行を繰り返すのではなく、ある程度まとまった距離を駆動走行し、別のまとまった区間で惰性走行を行っている。それに対して、モデル上はそれらを全区間に渡って平均化した値を与えているため、このようなズレとして現れている。排出強度として見た場合には大きな寄与があるわけではないのでそれほど大きなズレとしては現れていないが、道路条件、交通条件等を定常走行時のモデルに組み込むなど、設定方法に改善の余地はあろう。これはその他の指標についても当てはまる議論である。
- ・ 速度変動項(Z_{av} , Z_a)についてみると、加速時の再現性は概ね良好であるが、 Z_{av} が比較的バラツキが大きい。 Z_{av} は駆動走行時の速度の自乗の増加分であるため、中・高速域では比較的小さい速度変動

でも大きな値を取りうる。一方、 Z_a は駆動走行時の速度増加分であり、比較的大きな速度変動（加速度）を取りうる低速域のみで大きな値となるため、中・高速域での速度変動にも影響を受けず、それほど大きな誤差としては現れていない。

- ・ 走行時間項(T_{rs} , T_r)について見ると、低速域（停止位置周辺）において、駆動走行時間 T_{rs} が過大評価、非駆動走行時間 T_r が過小評価される傾向にある。これらの値は加速・減速時間モデルの精度に依存する部分であるが、6. 3で示したとおり必ずしも加速・減速時間モデルの精度は高くない。これについても、道路条件、交通条件を踏まえたモデル設定を行うことにより比較的精度の向上を図ることが期待される。

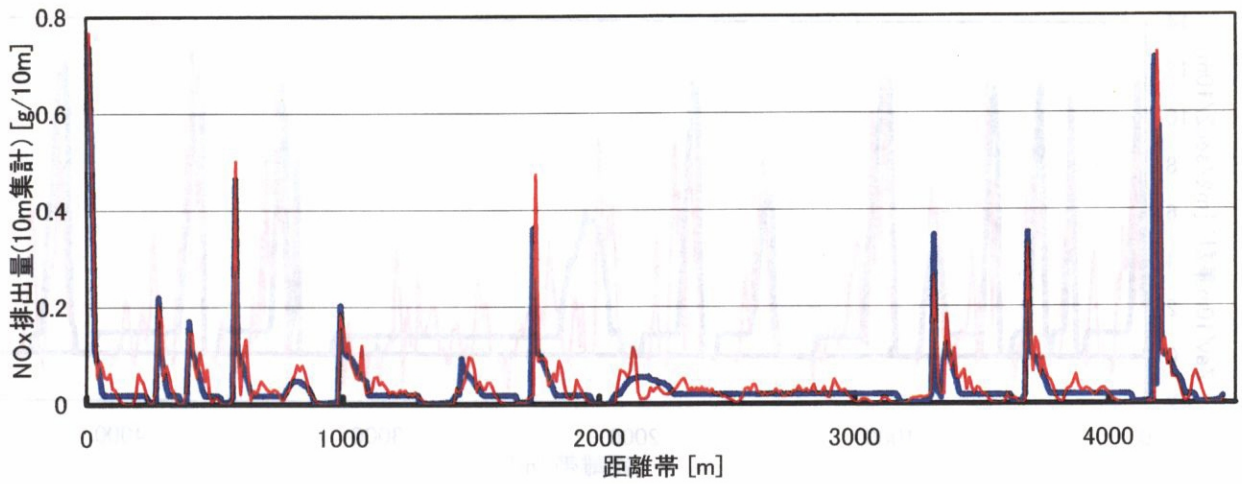


図 6 - 4 0 NOx 排出量推計結果

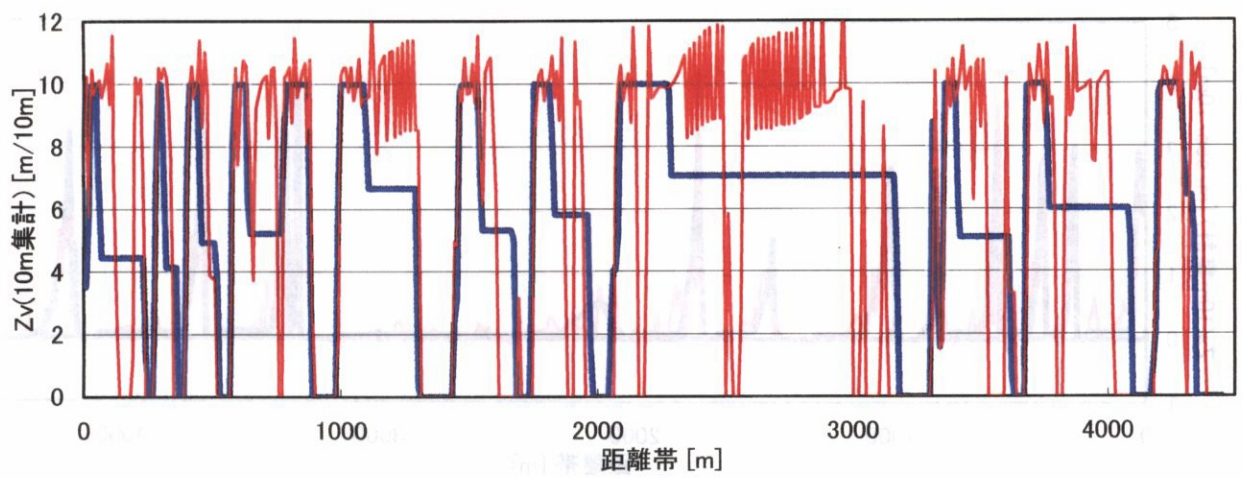


図 6 - 4 1 排出量推計指標の推計結果 (Z_v)

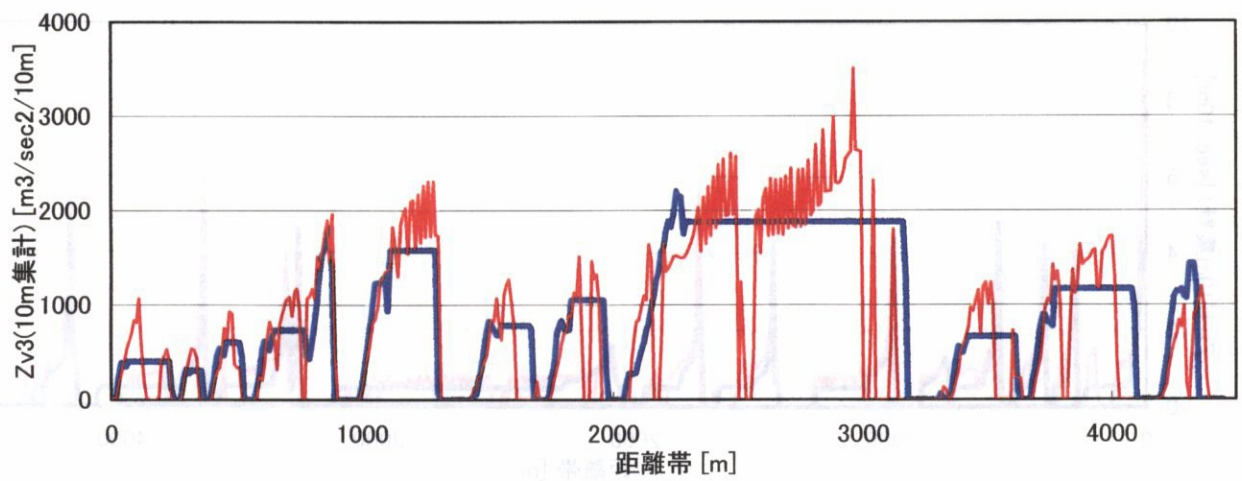


図 6 - 4 2 排出量推計指標の推計結果 (Z_{v3})

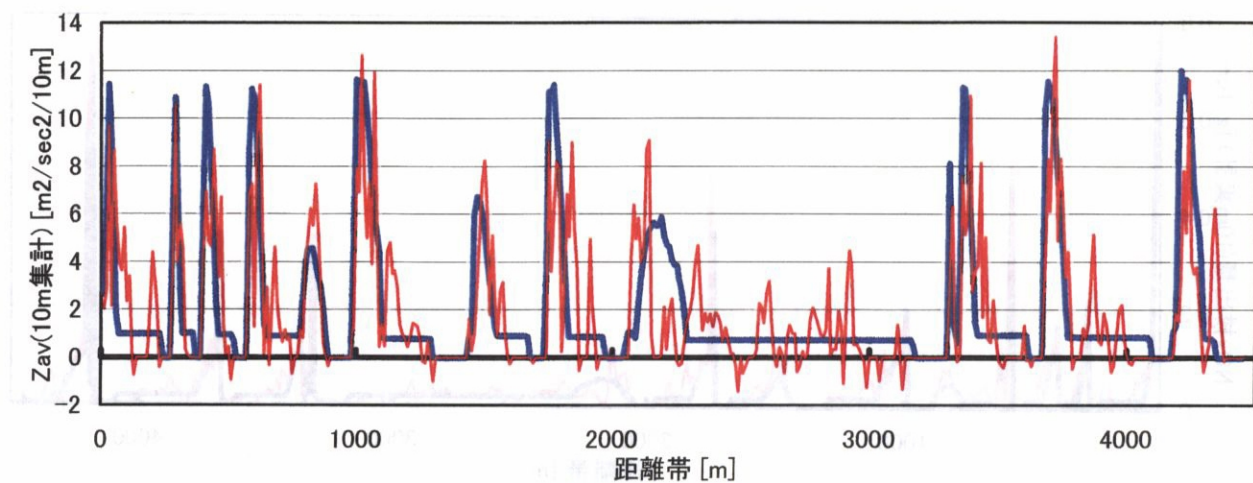


図 6 - 4 3 排出量推計指標の推計結果 (Z_{av})

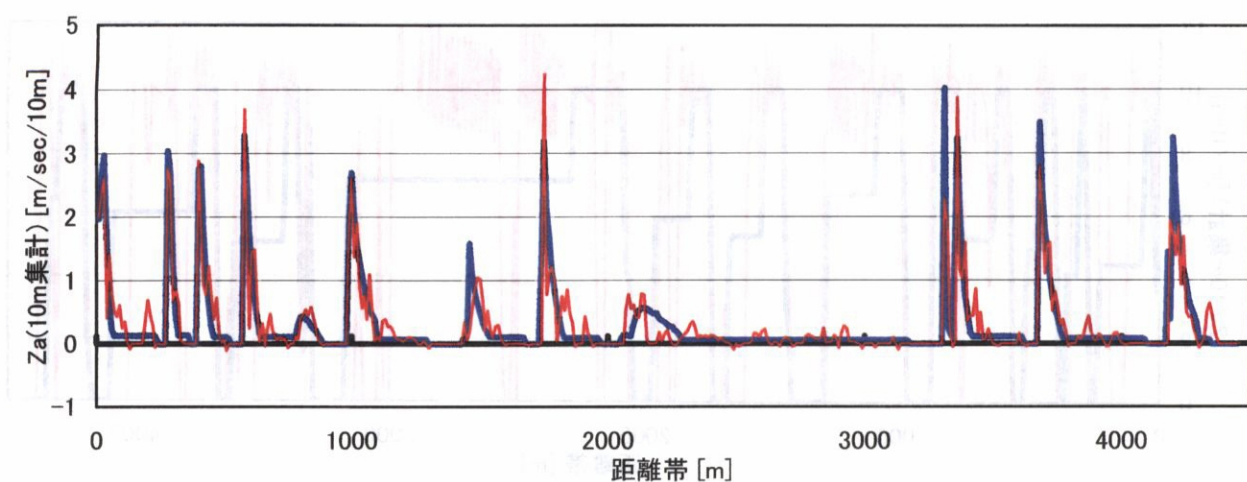


図 6 - 4 4 排出量推計指標の推計結果 (Z_a)

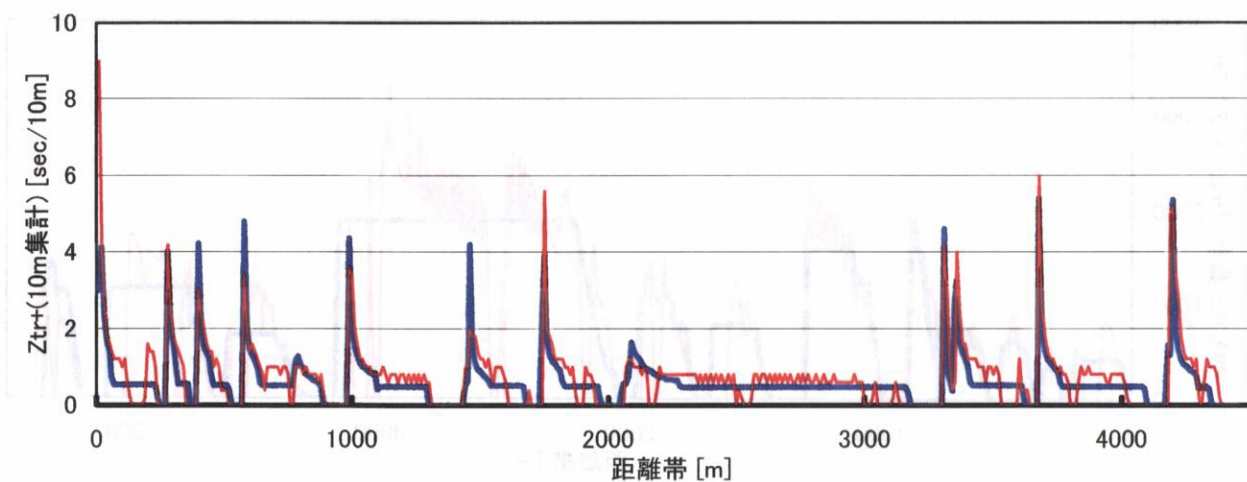


図 6 - 4 5 排出量推計指標の推計結果 (T_{r+})

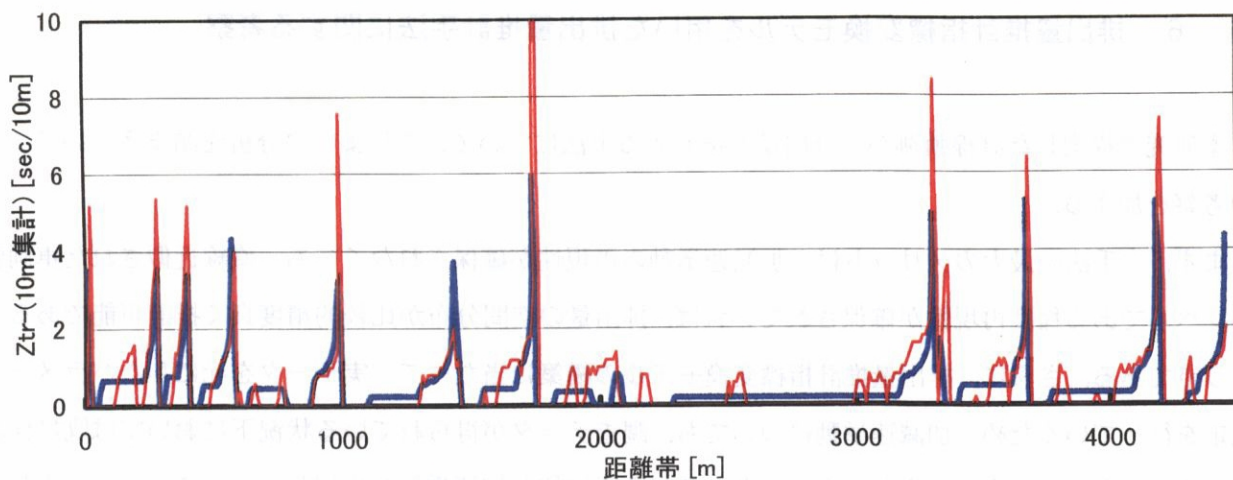


図 6 - 4 6 排出量推計指標の推計結果 (T_r)

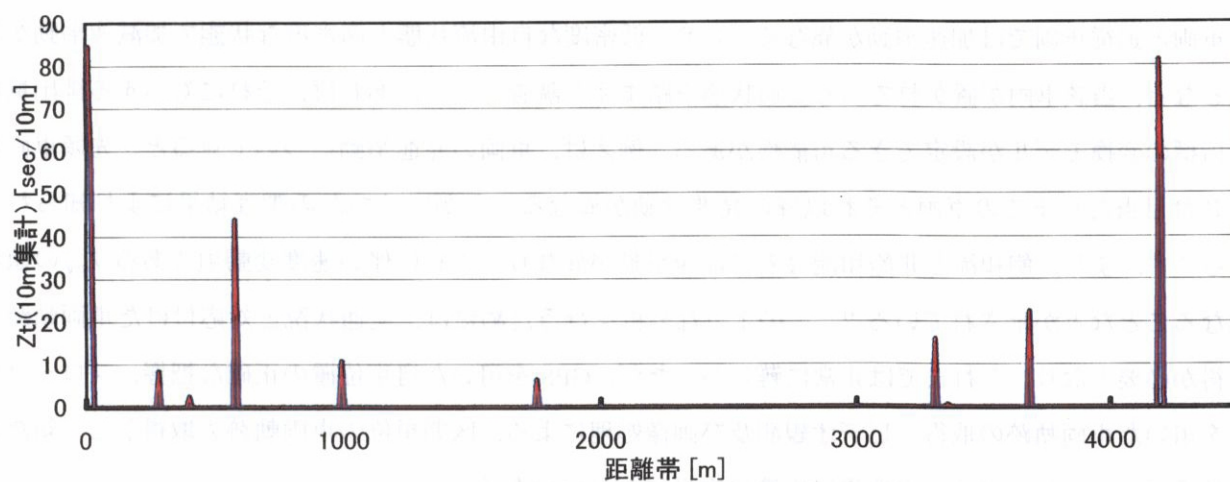


図 6 - 4 7 排出量推計指標の推計結果 (T_i)

6. 6 排出量推計指標変換モデルを用いた排出量推計手法に関する考察

本研究で提案した直線軌跡から排出量を推計する手法について、これまでの分析を踏まえていくつかの考察を加える。

まず、本手法の最大のメリットは、加減速挙動の再現性が確保されなくても、直線近似された車両軌跡レベルである程度再現性が確保されていれば、排出量の空間分布が比較的精度良く推計可能であるという点である。さらに、排出量推計指標変換モデルの構築に当たって、実データを元にしたパラメータ推定を行っているため、加減速挙動についても、調査データが得られている状況下においては既に検証済みであると言って良い。また、実データに基づき平均的な加速挙動を再現していることから、より平均的な状況下における加速挙動を再現できていると言える。

更に、調査データがあれば、細かい状況に対応したより詳細な分析、設定が可能となる。例えば、先頭車両と追従車両では加速挙動が異なることや、低密度な自由流状態と高密度な状態で加減速挙動が異なるなど、当該車両が置かれている交通状態を踏まえた調査データがあれば、それに対応する排出量推計指標の変換モデルが設定できる可能性がある。例えば、車両の発進挙動について見ると、先頭車両及び3台目当たりまでの車両とそれ以降の発進挙動が異なることがいくつかの調査結果により知られている^{4) 5)}。また、飽和流と非飽和流などで加速挙動が異なり、それに伴い速度変動項である Z_{av} の値が異なることなどが示されている⁴⁾。このような分析を行うためには、交通状況と対応付けた車両軌跡の取得が必要となり、これまでは非常に難しかったが、GPSを用いた自車位置の正確な把握、プローブカーを用いた車両軌跡の取得、ビデオ観測及び画像処理による、区間単位の車両軌跡の取得など、新たな新技術によりこれらのデータ取得は次第に容易になりつつある。

一方、直線近似された軌跡が再現されている状況は、加減速挙動が再現されていないまでも、主となる速度変化のタイミングと位置がある程度把握されている状況である。信号交差点などの明らかな加減速要因は十分に再現しうるだろうが、それ以外の速度変動要因がどの程度存在し、どこまで再現可能であるかが、排出量の再現性向上のためには重要なポイントである。まずは走行軌跡としての再現性を図ることとなるが、走行軌跡として再現できない要素を変換モデル側で取り込むためには、その他の利用可能な情報（幅員、車線数、沿道利用等の道路条件や、交通量等のマクロな指標として捉えられる交通条件によらざるを得ない。そのためには上記に示したような交通状況等を考慮した分析が必須となる。本アプローチに対する別の論点としては、排出量推計指標をモデル化すべきか、速度プロファイルモデル化してそれを用いて排出量推計指標を算出すべきか、という点がある。加速時・減速時の速度・加速度プロファイルモデル化して排出量（燃料消費量）の推計に用いようとする試みはいくつか行われている。速度プロファイルとしてもっとも簡単なのは本研究でも用いた等加速度モデルであるが、Samuels⁶⁾や Lee.et.al.⁷⁾ は線形減小加速度モデルがよくデータと適合することを示している。その後、Akcelik and Biggs²⁾ は、線形減小加速度モデルは初加速度が非現実的に大きく設定することになること

を指摘し、2 項 sinusoidal, 3 項 sinusoidal, Polynomial Model の 3 つのモデルを提案し、比較分析により Polynomial Model の適合性が比較的高いことを示している。

本研究では排出量推計指標を直接モデル化しているが、基本的に（特に加速時においては）これらの排出量推計指標は速度プロファイルから推計できるものであり、速度プロファイルを排出量推計指標の形でモデル化しているのに他ならない。ただし、排出量推計指標を直接モデル化する手法は速度プロファイルを定式化してモデル化する手法に比べて以下のメリットがある。

- ・ 速度プロファイルのモデル化では取り込むことのできない要因を取り込むことが可能である。例えば、頻繁な加減速挙動に伴う Z_{av} の増加などは、速度プロファイルモデルで扱うのは困難である。また、巡航走行時の速度プロファイルや、道路特性に応じて取り込むべき走行攪乱要因（駐車車両の影響など）を速度プロファイルモデルで扱うのは難しい。
- ・ 排出量推計に必要な空間集計距離に集約して推計すること、また定式化に伴う制約（式形に依存するズレ、偏りなど）がないため、得られた軌跡データの質に応じて推計値の精度の向上が図られる。特に、排出量推計指標によって影響を与える速度域が異なるため、推計指標毎にパラメータを推定することによって、卓越する速度域での精度の向上が図られる。

すなわち、単純に速度プロファイルをモデリングする手法に比べて、排出量推計モデルの説明要因である排出量推計指標を的確に捉え、それを再現するようにモデル化することにより、単なる速度プロファイルの当てはめでは捉えられない要因を考慮することができる。これが本モデルの特徴でもあり、優位性を有する点であるといえる。

なお、本章で示した排出量推計指標変換モデルのモデル化手法にはまだ課題が残されている。その中でもっとも大きなものは、加速、減速範囲の設定方法である。すなわち、加速、減速範囲を 6. 2. 1 で示された台形型速度プロファイルに従って設定したため、ここで設定された加速、減速範囲の初速度、終速度と、それに対応する実軌跡の初速度、終速度が整合しない結果となる。この影響が Z_{av} , Z_a のモデル化に現れていることは、パラメータ推定の節（6. 3. 3）で示したとおりである。これに対する対応としては、加速、減速範囲の設定方法の再検討が挙げられる。例えば、加速範囲を台形型プロファイルで定義された初速度から終速度に至までの範囲と定義すれば、上で示した不整合は解消される。このように設定することにより台形型速度プロファイルで設定された加速、減速範囲とは整合しないこととなるが、台形型速度プロファイルはあくまでも巡航速度を定義するために導入したものであるので、その中で設定された加速、減速範囲と実際に設定される加速、減速範囲が異なってもモデル構築上の問題はない。ただし、この場合、加速、減速範囲を初速度、終速度の関数として設定するのみではその範囲は定まらず、加速範囲の開始時間（又は位置）も併せて定義する必要があることから、若干手順が複雑になる。

また、本分析では 1 台の車両のデータに基づきパラメータ推定を行ったが、実際には車両によって挙動が大きく異なる。交通流におけるマクロな状態量（交通量、密度など）については、大型車換算係数

(PCE) などを用いることによりある程度シミュレーション上で再現されるであろう。しかし、これでは車両の加減速挙動の違いは十分に反映されない。車両の違いによる加減速の挙動に関する分析では、出力重量比 (PWR) がその挙動の違いに大きな影響を与えることを示した例がある⁸⁾。一般に、大型車の方が PWR が小さく、加減速挙動も緩やかで、かつ比較的均質になる傾向がある。実用面を考えても、最低限大型車、小型車の 2 車種に区分する必要があるが、具体的には、その特性の違い、排出量に対する影響なども含め、車種の違いを考慮した検討を行う必要がある。

6. 7 第6章のまとめ

この章では、直線近似された車両軌跡と排出量推計モデルの説明変数（排出量推計指標）を結びつける排出量推計指標変換モデルの構築を行った。まず、直線近似された車両軌跡とは time-space 上の2点間をある一定の速度（巡航速度）で走行・停止するような軌跡であるとして、このような軌跡が実軌跡を再現している状況を定義した。その上で、速度が変化する地点に加速度・減速度一定の走行軌跡（time-velocity 図上で台形型の速度プロファイル）を仮定することによって、加速一定速一減速区間に区分し。さらに、各区間毎に排出量推計指標変換モデルを当てはめて、排出量推計指標の空間分布を推計する手法を提案した。ここでのポイントは、加速・減速区間の設定、及び排出量推計指標変換モデルの生成に当たって実車両から得られる走行軌跡に基づく平均的な値を求めることにより、より平均的な排出量を再現できるような排出量推計指標の算出を行うようにした点である。

上記のモデルに対して、具体的に幹線道路における実走行パターン調査の走行軌跡に基づいて加速・減速時間推計モデル及び排出量推計指標変換モデルを設定した。特に、加速・減速時のモデルについては初速度・終速度を変数とするモデルとして構築した。また、加速・減速時の一部の指標については、正規化指標を導入した空間分布を算出するモデルを構築した。これは、比較的精度の良い加減速区間での集計量の整合性を確保しつつ空間分布を算出しようとするものである。

上記のモデルをシャシダイナモ試験で排出ガス量も測定している車両の走行軌跡を対象として適用したところ、直線近似軌跡レベルでの再現性が高ければ非常に高い空間分布の再現性を確保できることが示された。

これらの手法は、直線近似されたレベルで走行軌跡の再現性が向上できれば、細かい車両挙動の再現性にかかわらず、より精度の高い排出強度の空間分布が再現できる点で非常に画期的であるといえよう。今後、調査データの積み重ねにより変換モデルの精度向上を図ることが求められる。

第6章の参考文献

- 1) 小根山裕之, 大西博文, 山田俊哉, 平井洋: 自動車の走行特性を反映した排出係数の設定に用いる実走行モードについて, 土木計画学研究・講演集, No.22(2), pp.571-574, 1999
- 2) R. Akcelik and D.C. Biggs : Acceleration Profile Models for Vehicles in Road Traffic, Transportation Science, Vol.21, No.1, pp.36-54, Feb 1987.
- 3) J.R. Jarvis : In-service Vehicle Performance, Society of Automotive Engineers-Australasia / Australian Road Research Board 2nd Conference on Traffic, Energy and Emissions, Melbourne, 1982
- 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, 第24回土木計画学研究・講演集, 2001
- 5) 古屋秀樹, 金山直司, 岡本直久, 石田東生: 交差点における排出ガス量推計のための車両挙動特性分析, 土木計画学研究・論文集, No.19, Vol.2, 2002
- 6) S.E. Samuels : Acceleration and Deceleration of Modern Vehicles, Australian Road Res., 6(2), 23-29, 1976
- 7) C.E. Lee, T.W. Rioux and C.R. Copeland, The TEXAS Model for Intersection Traffic Development, U.S. Federal Highway Administration Report No.FHWA-TX-78184-1, Washington, D.C. , 1977
- 8) 土井ほか, 自動車の都市内走行形態に及ぼす道路, 車種, 積載量の影響, 自動車研究, Vol. 18, No. 1, 1996