

第5章 排出量推計モデルに基づく交差点周辺を対象とした排出量要因分析

5.1 はじめに

第4章で構築したような理論的なバックグラウンドを有する排出量推計モデルの有効な点は、距離項、速度変動項、時間項といった要因別の分析が行えることが挙げられる。また、車両軌跡の定式化を行うことにより、要因を踏まえた上で、交差点周辺の排出量の空間分布や信号の制御パラメータと排出量の関係等が分析できる点も、排出量に影響を与える交通制御の要因を分析する上で非常に有効である。

本章では、交差点周辺の簡便な停止・発進挙動のモデル化を行い、本研究で提案したモデルを適用して、停止・発進等による排出量の空間分布に与える車両挙動上の要因を明らかにする。まず、停止・発進挙動を、巡航走行時の速度変動を無視し、停止、発進時に一定の加速度、減速度で減速、加速するような単純な車両挙動と仮定してモデル化し、これに第4章で提案した排出量推計モデルを適用して、交差点前後における停止・発進に伴う排出量やその空間分布を分析し、加速度、遅れ時間、自由流旅行速度と排出量の空間分布の関係を明らかにする。また、上記のモデルを、孤立交差点を対象とした交差点周辺の停止・発進モデルとして定式化し、排出量推計モデルの定式化を行い、加速度、ジャム密度、自由流旅行速度並びに信号制御のパラメータと排出量の関係を分析する。これらは、交差点周辺の停止・発進挙動を決定する各指標の感度分析を通して、単に信号制御の排出量に与える影響を明らかにするのみでなく、シミュレーションモデルでの排出量推計に当たって再現性を確保するために重要な指標の抽出しようとするものである。

さらに、交差点における2方向の排出量を考慮して排出量が最小となるサイクル長、スプリットを導出し、信号制御による排出量低減の基本的な特性を分析する。

5. 2 交差点の停止，発進に伴う排出量の試算

信号制御による停止，発進等があるような交差点部では，加速，停止等により排出量が増加するが，その空間的な排出強度の分布は，停止時間，巡航走行から停止に至り，また発進加速後，巡航走行に至るまでの加速度・減速度，巡航速度等が大きな影響を及ぼす．ここでは，これらの影響要因が排出量（停止位置を挟んだ区間の総排出量，及びその空間分布）に与える影響を分析するため，簡単な走行パターンの仮定に基づくモデル分析を行う．まず，最初に停止発進時の車両の走行パターンを簡便な仮定を用いて速度を位置の関数として定式化し，更に定式化した走行パターンを用いて，第4章で提案した排出量推計式の説明変数（排出量推計指標）を定式化する．更に，第4章で導出されたパラメータを用いて排出量をモデル的に算出し，遅れ時間，加減速度，巡航速度等が排出量に与える要因を明らかにする．

5. 2. 1 走行パターンの仮定

ここでは，交差点における1台の車両の停止・発進挙動を取り上げ，その走行軌跡を簡単な仮定に基づき停止位置からの距離と速度の関係としてモデル化する．具体的には，ある一定の速度で巡航走行を行っている車両が，停止位置に近づいたところで減速・停止し，一定の停止時間経過後，発進加速し再びある一定の自由流旅行速度まで加速するような車両挙動を考える．ここで，単純化のため以下の仮定を置く．

- ①巡航走行中は自由流旅行速度 v_f で走行する．その間の速度変動は考慮しない．
- ②停止位置（停止する場合），又は減速から加速に転じる位置（停止しない場合）を基準位置とし， $x = 0$ とする．この場合， $x = 0$ における遅れ時間を w とする．なお，遅れ時間には減速，加速による遅れも含まれるため，遅れ時間＝実際の停止時間ではない．一般的には，遅れ時間 $w >$ 停止時間である．
- ③基準位置から加速する際の加速度，基準位置まで減速する際の減速度（＝減速時の加速度の絶対値であり，正の値をとる）は一定とし，加速度 $\alpha_a (> 0)$ ，減速度 $\alpha_d (> 0)$ とおく．

この場合の車両軌跡を time-space 図上で表すと図5－1のようになる．図5－1の実線は加減速を考慮しない場合の車両軌跡であり，基準位置 $x = 0$ で遅れ時間 w が発生している．一方，停止前後の加減速を考慮した場合，走行軌跡は図5－1の点線のように表される．

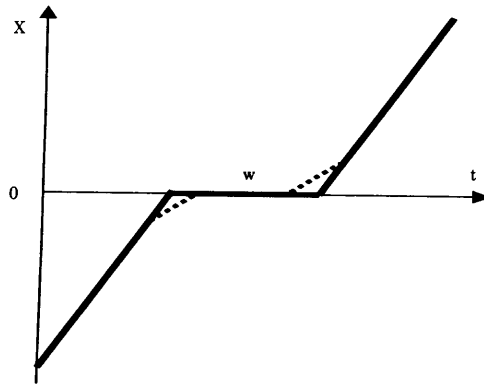


図 5 - 1 停止位置周辺の走行軌跡

この場合、遅れ時間 w と加減速を考慮した実際の停止時間 w' は異なり、それぞれの関係は自由流旅行速度 v_f と加速度 α_a 、減速度 α_d を用いて以下の通り表される。

$$w' = w - \frac{v_f}{2\alpha_d} - \frac{v_f}{2\alpha_a} \quad (5-1)$$

実際に停止する条件は、 $w' > 0$ より、

$$w > \frac{v_f}{2\alpha_d} + \frac{v_f}{2\alpha_a} \quad (5-2)$$

であり、これを満たさない場合には実際には $x = 0$ で停止せず、ある程度の速度まで減速した後、再加速することとなる。この場合、 $x = 0$ における速度を v_c とすると、遅れ時間 w について、

$$w = \frac{(v_f - v_c)^2}{2v_f\alpha_d} + \frac{(v_f - v_c)^2}{2v_f\alpha_a} \quad (5-3)$$

という関係があるため、これより v_c は、

$$v_c = v_f - \sqrt{\frac{2v_f w}{\left(\frac{1}{\alpha_d} + \frac{1}{\alpha_a}\right)}} \quad (5-4)$$

となる。

なお、上記の車両軌跡について、速度 v を距離 x の関数として記述すると以下の通りとなる。

① $w > \frac{v_f}{2\alpha_d} + \frac{v_f}{2\alpha_a}$ の場合、すなわち、停止する場合、

$$v(x) = \sqrt{2\alpha_a x} \quad \left(0 < x < \frac{v_f^2}{2\alpha_a}\right)$$

$$v(x) = \sqrt{-2\alpha_d x} \quad \left(-\frac{v_f^2}{2\alpha_d} < x < 0\right)$$

$$v(x) = v_f \quad \left(x \leq -\frac{v_f^2}{2\alpha_d}, \frac{v_f^2}{2\alpha_a} \leq x\right)$$

$$v(x)=0 \quad (x=0) \quad (5-5)$$

② $w \leq \frac{v_f}{2\alpha_d} + \frac{v_f}{2\alpha_a}$ の場合、すなわち、停止しない場合、

$$\begin{aligned} v(x) &= \sqrt{2\alpha_a x + v_c^2} & (0 < x < \frac{v_f^2 - v_c^2}{2\alpha_a}) \\ v(x) &= \sqrt{-2\alpha_d x + v_c^2} & (-\frac{v_f^2 - v_c^2}{2\alpha_d} < x < 0) \end{aligned} \quad (5-6)$$

5. 2. 2 総排出量の算出及び分析

次に、5. 2. 1 で定式化した走行パターンに基づき、基準位置に対して対称な区間 $[-l, l]$ を定めて、排出量推計モデルの説明変数（排出量推計指標）を算出する。簡単のため、加速時・定速走行時は常に駆動走行（すなわち $\delta = 1$ ）、減速時は常に惰性走行（ $\delta = 0$ ）であるとする。さらに、 $\alpha_a = \alpha_d = \alpha$ とすると、各説明変数は以下の通りとなる（導出過程は Appendix 6-1 を参照）。

① $w > \frac{v_f}{\alpha}$ の場合、すなわち、停止する場合、

$$Z_v = 2l - \frac{v_f^2}{2\alpha}, \quad Z_{v3} = 2v_f^2 l - \frac{3v_f^4}{4\alpha}, \quad Z_{av} = \frac{1}{2}v_f^2, \quad Z_a = v_f, \quad T_{r+} = \frac{2l}{v_f}, \quad T_{r-} = \frac{v_f}{\alpha}, \quad T_i = w - \frac{v_f}{\alpha} \quad (5-7)$$

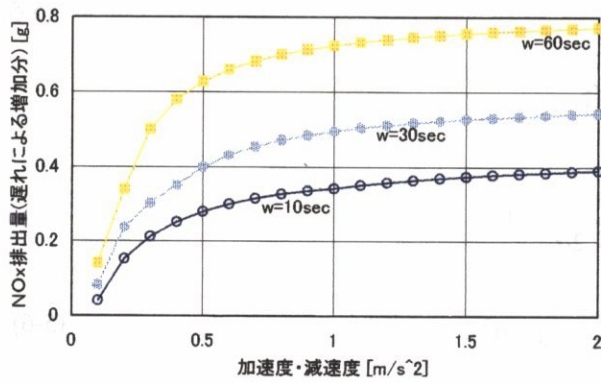
② $w \leq \frac{v_f}{\alpha}$ の場合、すなわち、停止しない場合、

$$\begin{aligned} Z_v &= 2l - v_f^{3/2} \alpha^{-1/2} w^{1/2} + \frac{v_f}{2} w, \\ Z_{v3} &= 2v_f^2 l - v_f^{3/2} \alpha^{-1/2} w^{1/2} + \frac{v_f^3(1-2\alpha)}{2} w + \alpha^{3/2} v_f^{5/2} w^{3/2} - \frac{v_f^2 \alpha^2}{4} w^2 \\ Z_{av} &= v_f^{3/2} \alpha^{1/2} w^{1/2} - \frac{\alpha v_f}{2} w, \quad Z_a = \alpha^{1/2} v_f^{1/2} w^{1/2}, \quad T_{r+} = \frac{2l}{v_f}, \quad T_{r-} = v_f^{1/2} \alpha^{-1/2} w^{1/2}, \quad T_i = 0 \end{aligned} \quad (5-8)$$

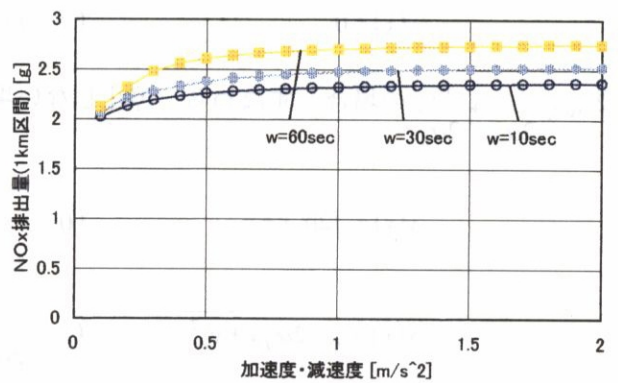
これらの指標を、以下の排出量推計モデル式に代入することにより、区間 $[-l, l]$ における排出量が算出される。

$$F = c_1 \cdot Z_v + c_2 \cdot Z_{v3} + c_{3a} \cdot Z_{av} + c_{3b} \cdot Z_a + c_{4r+} T_{r+} + c_{4r-} T_{r-} + c_{4i} T_i \quad (5-9)$$

当然ながら、算出される排出量はモデルパラメータに依存する。そこで、第4章でパラメータ推定した車両2のパラメータを代入して排出量の試算を行った。その結果を図5-2, 3, 4に示すが、いずれも v_f , w , α のいずれかを固定し、他の変数の感度を分析したものである。

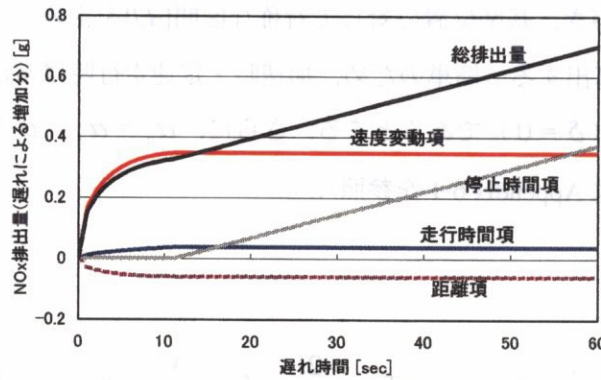


左図：遅れによる増加分のみ抽出

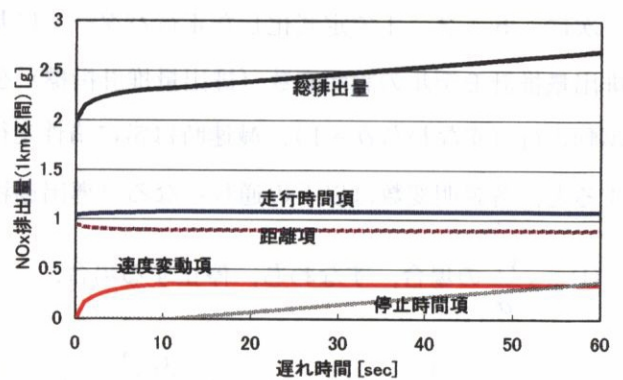


右図：1km 区間での排出量

図 5 - 2 加速度と排出量の関係（遅れ時間別，自由流旅行速度 $v_f=36\text{km/h}$ ）

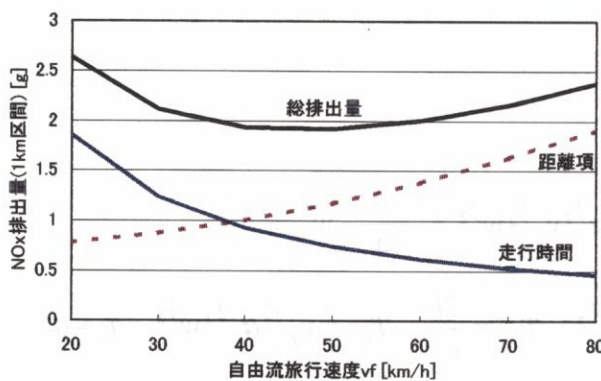


左図：遅れによる増加分のみ抽出

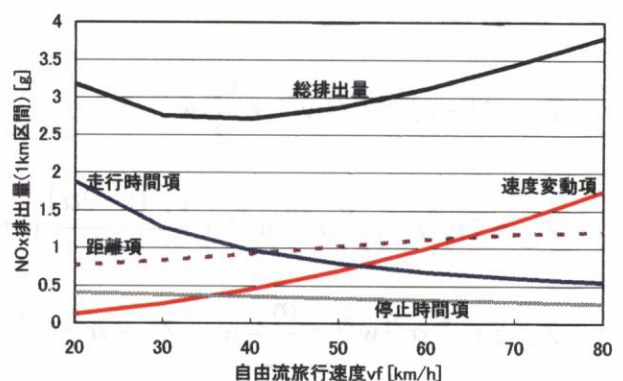


右図：1km 区間での排出量

図 5 - 3 遅れ時間と排出量の関係（要因別，加減速度 $\alpha=0.9$ ，自由流旅行速度 $v_f=36\text{km/h}$ ）



左図：遅れ時間 $w=0\text{sec}$



右図：遅れ時間 $w=60\text{sec}$

図 5 - 4 自由流旅行速度 v_f と排出量の関係（要因別，加減速度 $\alpha=0.9$ ）

これらの定式化及び試算例より，以下のような特徴を見ることができる。

まず，速度変動項 (Z_{av} , Z_a の項) は，①の場合（停止ありの場合）には自由流旅行速度 v_f のみを変数として決定され，加速度の大きさによらない。これは，加速項は初速度と終速度のみから決まるという本モデルの特性によるものである。本モデルの仮定を大きく外れるような場合，例えば過大な加速度に

よりエンジン負荷が非常に大きくなり、エンジン出力と排出量の線形関係が崩れるような場合には、あてはまらない場合も想定されるが、一般的な状況下では概ね当てはまろう。むしろ、加減速度の影響は他の項（距離項： Z_1 , Z_{v3} , 走行時間項： T_{r+} , T_r ）における減速に伴う排出量の減少として現れている。すなわち、各項の式から明らかなように、減速度が大きくなると減速部分が短くなり、減速時の排出量減少分が増加し、排出量が増加することとなる。また、②の場合（停止しない場合）は、速度変動項も加速度の変数となっているが、これは、加速度・減速度によって減速から再加速に至る段階の速度が異なるためである。①の場合と同じく加速度が大きくなると排出量が増加することは、上記式と w , α の条件から簡単に示すことができるし、図5-3の試算結果からも確認できる。

この車両の例で加速度及び減速度が 0.5m/s^2 と 1.5m/s^2 の場合を比較すると、 0.5m/s^2 を基準とした場合、 1.5m/s^2 では、増加分ベースで 35% ($w = 10\text{sec}$) から 21% ($w = 60\text{sec}$) の排出量増加、1km 区間の総量ベースでも 4~5% の排出量増加となる。6-3の実車両軌跡の分析でも示されるとおり、これらの値は十分に存在しうる加速度・減速度の幅であり、速度変動項 (Z_{av} , Z_a) の値がほとんど変化しないにもかかわらず、加速度によって比較的大きな差が出ることが確認された。逆に言うと、交通シミュレーションなどで再現される加速度が平均的な値から大きくずれていれば、排出量が大きく変わる可能性があることを示唆している。

また、遅れ時間 w と排出量の関係を見ると、②の場合、すなわち停止しない程度に遅れが小さい場合は、各項は遅れ時間に関する非線形の関数となり、総排出量は非線形に増加する。その後、遅れに伴う停止が発生する①の条件になると、遅れ時間は停止時間項のみに効いてくるため、遅れ時間の増加にあわせて排出量も線形に増加することとなる。図5-3の試算例からも上記の傾向を見ることができる。

なお、①の条件（停止しない場合）の排出量推計指標(5-7)を排出量推計モデル式(5-9)に代入して整理すると、以下の通り要素分割モデル¹⁾と等価な形式になることがわかる。

$$F = \left(c_1 + c_2 v_f^2 + c_{4r+} \frac{1}{v_f} \right) X + c_{4i} w + \left(c_{3a} \cdot \frac{1}{2} v_f^2 + c_{3b} \cdot v_f + c_{4r-} \frac{v_f}{\alpha} - c_1 \frac{v_f^2}{2\alpha} - c_2 \frac{3v_f^4}{4\alpha} \right) \quad (5-10)$$

ただし、 $X = 2l$: 区間 $[-l, l]$ の走行距離。

ここで、第1項が走行距離に関する項、第2項が遅れ時間に関する項、第3項が停止に関わる項である。自由流旅行速度 v_f 及び加速度・減速度 α が一定であれば第3項は定数項となり、要素分割モデルの停止1回当たりの排出量と等価な値となる。

次に v_f と排出量の関係を見ると、速度の上昇に従って、距離項と速度変動項が大きくなり、走行時間項が小さくなることから、これらの関係のトレードオフとなる。また、速度が大きくなると、その速度まで加速するために排出される量が非常に卓越してくることがわかる。図5-4からもこれらの関係が見られる。この車両についてみると、概ね $w = 60$ の場合で $V_f = 40\text{km/h}$ 弱、 $w = 0$ で $V_f = 50\text{km/h}$ 弱が最適値になっている。最適点は車両毎のパラメータに依存するし、実際の交通状況下では様々な走行パタ

一の車両が混在するため、その組み合わせで決まってくるが、それぞれの道路状況に応じて、環境の観点から適切な制限速度の設定も考え得るであろう。なお、距離項+走行時間項が v_f に対して下に凸の関数であり、速度変動項が v_f の単調増加関数であるならば、速度変動項を考慮することによって最適点は自由流旅行速度 v_f が低下する方向にシフトする。この傾向は、停止発進回数が増えて速度変動項が大きくなるほど強くなる。従って、停止発進回数が多くなればなるほど自由流旅行速度（＝規制速度と読み替えても良い）を低下させる方が排出量を低減させるということが言える。

5. 2. 3 排出量の空間分布の算出及び分析

次に、停止位置前後の空間分布を分析する。具体的には、排出量推計指標の定義式(4-9)を距離 x で微分し、本章にてモデル化した走行パターンである式(5-5,6)を代入することにより、各排出量推計指標の距離帯別の密度関数を求めた。この場合、各排出量推計指標は距離帯別に表5-1に示す通りとなる(導出過程は Appendix6-2 参照)。なお、式中の v_c は式(5-4)により導出される値である。この式に従い、5. 2. 1と同様に第4章で取り上げた車両2のパラメータを用いて要因別に排出量を試算したものを図5-5, 6, 7に示す。この試算では、他の条件はそのままで加速度、減速度のみを変えたものである。

表5-1に示された式（特に、加速範囲及び速度変動項 $z_{av}(x)$, $z_{av}(x)$ の値）、また算出例である図5-5～7の一連の図からもわかるとおり、加速度によって排出量の地点別の量とその空間的広がりが大きく異なる。 $z_{av}(x)$ の式からも明らかとなっており、加速範囲 $0 < x < \frac{v_f^2}{2\alpha_a}$ において、概ね α_a に比例した量が速

度変動項として排出され、その量は加速時の主たる排出要因となっていることがわかる。すなわち、加速度が大きくなれば加速範囲は狭くなるが加速区間の単位距離当たりに排出される量は多くなるし、加速度が小さくなれば、その逆となる。前節で示したとおり加速度の違いは総量レベルでも影響があるものの、それほど大きいものではなかった。それと比較して見ると、加速度の違いは、総排出量への影響よりもむしろ汚染の広がり方に影響することがわかる。NOxのように局地的な影響の広がり の把握が重要な場合には、加速度の変化を捉えることが重要となる。

また、地点別の排出強度で考えると、停止地点についてはアイドリング時の排出量が突出している。これはアイドリング時間に比例する量であり、ここでの停止時間が長くなればなるほど排出量は増加し、この地点での排出量が突出することとなる。

これらを考慮すると、空間的な広がりを考慮して適切に排出量を推計するためには、停止位置及び停止時間を適切に把握すること、加減速度を適切に把握すること、停止位置及び加減速度を踏まえ、停止位置を中心とした加減速範囲を適切に捉えることが重要となる。

表5-1 単純な発進・停止車両軌跡を仮定した場合の排出量推計モデルの各説明変数

(a)停止のある場合 ($w > \frac{v_f}{2\alpha_d} + \frac{v_f}{2\alpha_a}$)

	$x \leq -\frac{v_f^2}{2\alpha_d}$	$-\frac{v_f^2}{2\alpha_d} < x < 0$	$x = 0$	$0 < x < \frac{v_f^2}{2\alpha_a}$	$\frac{v_f^2}{2\alpha_a} \leq x$
$V(x)$	v_f (定速範囲)	$\sqrt{-2\alpha_d x}$ (減速範囲)	0 (停止)	$\sqrt{2\alpha_a x}$ (加速範囲)	v_f (定速範囲)
$z_v(x)$	1	0	0	1	1
$z_{v3}(x)$	v_f^2	0	0	$2\alpha_a x$	v_f^2
$z_{av}(x)$	0	0	0	α_a	0
$z_a(x)$	0	0	0	$\frac{\alpha_a}{\sqrt{2\alpha_a x}}$	0
$t_{r+}(x)$	$\frac{1}{v_f}$	0	0	$\frac{1}{\sqrt{2\alpha_a x}}$	$\frac{1}{v_f}$
$t_{r-}(x)$	0	$\frac{1}{\sqrt{-2\alpha_d x}}$	0	0	0
$t_i(x)$	0	0	$w - \frac{v_f}{2\alpha_d} - \frac{v_f}{2\alpha_a}$	0	0

(b)停止しない場合 ($w \leq \frac{v_f}{2\alpha_d} + \frac{v_f}{2\alpha_a}$)

	$x \leq -\frac{v_f^2 - v_c^2}{2\alpha_d}$	$-\frac{v_f^2 - v_c^2}{2\alpha_d} < x < 0$	$0 \leq x < \frac{v_f^2 - v_c^2}{2\alpha_a}$	$\frac{v_f^2 - v_c^2}{2\alpha_a} \leq x$
$V(x)$	v_f (定速範囲)	$\sqrt{-2\alpha_d x + v_c^2}$ (減速範囲)	$\sqrt{2\alpha_a x + v_c^2}$ (加速範囲)	v_f (定速範囲)
$z_v(x)$	1	0	1	1
$z_{v3}(x)$	v_f^2	0	$2\alpha_a x + v_c^2$	v_f^2
$z_{av}(x)$	0	0	α_a	0
$z_a(x)$	0	0	$\frac{\alpha_a}{\sqrt{2\alpha_a x + v_c^2}}$	0
$t_{r+}(x)$	$\frac{1}{v_f}$	0	$\frac{1}{\sqrt{2\alpha_a x + v_c^2}}$	$\frac{1}{v_f}$
$t_{r-}(x)$	0	$\frac{1}{\sqrt{-2\alpha_d x + v_c^2}}$	0	0
$t_i(x)$	0	0	0	0

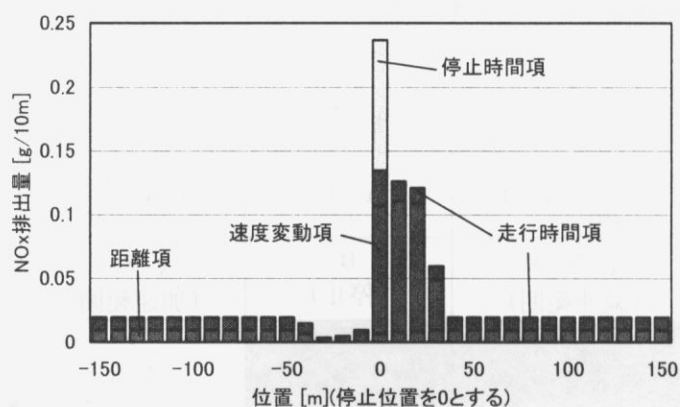


図 5 - 5 排出量の距離帯別分布に関する試算

(車両 2, 遅れ時間 $w = 20$ sec 自由流旅行速度 $V_f = 10$ m/s (=36 km/h), 加減速度 $\alpha = 1.5$ m/s²)

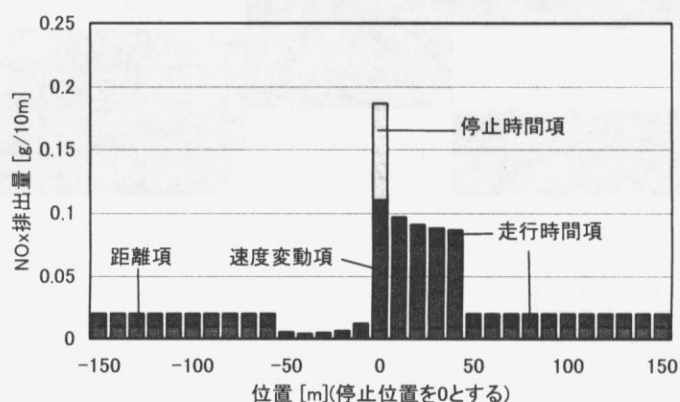


図 5 - 6 排出量の距離帯別分布に関する試算

(車両 2, 遅れ時間 $w = 20$ sec 自由流旅行速度 $V_f = 10$ m/s (=36 km/h), 加減速度 $\alpha = 1.0$ m/s²)

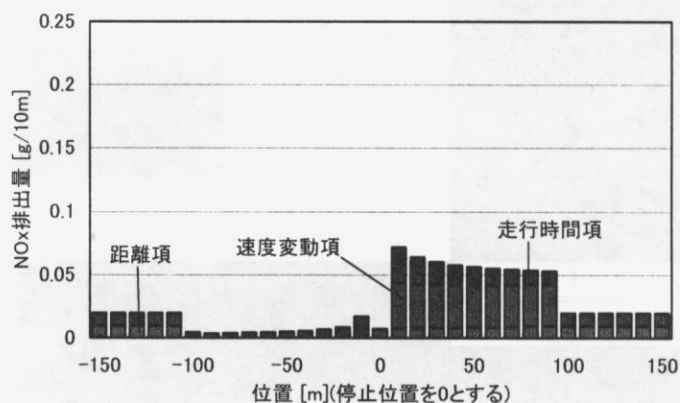


図 5 - 7 排出量の距離帯別分布に関する試算

(車両 2, 遅れ時間 $w = 20$ sec 自由流旅行速度 $V_f = 10$ m/s (=36 km/h), 加減速度 $\alpha = 0.5$ m/s²)

5. 3 信号制御と排出量の関係分析

5. 3. 1 信号制御に伴う車両軌跡及び排出量推計指標のモデル化

ここでは、これまでの1台の車両の停止、発進による分析を、信号交差点における交通流に対する分析へと展開させ、信号制御の要素（スプリット、サイクル長など）と排出量の関係、遅れ時間と排出量の関係、加速度による空間的分布の違いなど、いくつかの視点から分析を行う。

5. 2で示した停止位置を基準とした排出量推計指標の算出方法を用いれば、信号交差点における分析でも各車両の停止位置及び遅れ時間を推計することにより、排出量推計指標が分析できる。まず、到着交通、発進流を一様流とし、Jam 密度を $K_j[\text{veh/h}]$ 、到着交通流率を $q[\text{veh/s}]$ 、飽和交通流率を $s[\text{veh/s}]$ とすると、停止波と発進波が図5-8のように記述できる。

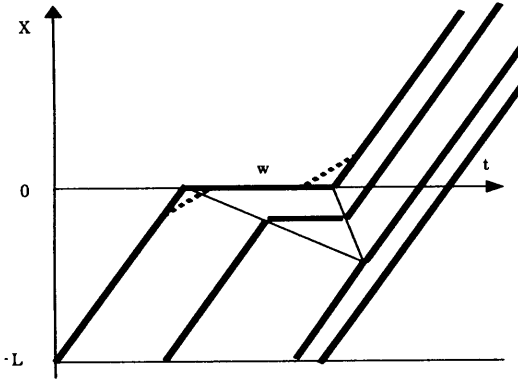


図5-8 交差点周辺の time-space 図

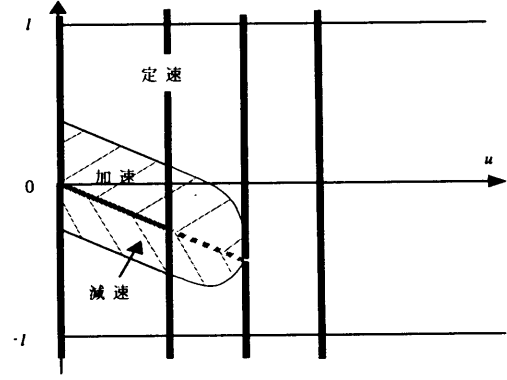


図5-9 累積到着交通量と通過位置図

u を累積到着交通量[veh]とし、 $u = 0$ の車両が最初に停止線で停止すると考える。また、1 サイクル分について計算対象とすると、 u の範囲は以下の通りとなる。

$$0 \leq u < qC \quad (5-11)$$

また、遅れ時間の存在する条件は、

$$0 \leq u \leq \frac{qs}{(s-q)} R \quad (5-12)$$

であり、この場合、車両の停止位置、遅れ時間は以下の通り記述できる。

$$x_s(u) = -\frac{1}{K_j} u \quad (5-13)$$

$$w(u) = -\left(\frac{1}{q} - \frac{1}{s}\right) u + R \quad (5-14)$$

さらに、式(5-2)の条件を満たさない遅れ時間の場合には実際には停止しない。これに該当する u の範囲は以下の通りとなる。

$$\frac{qs}{(s-q)} \left(R - \frac{v_f}{2\alpha_d} - \frac{v_f}{2\alpha_a} \right) \leq u \leq \frac{qs}{(s-q)} R \quad (5-15)$$

これらを踏まえ、図5-8の time-space 図を、横軸を累積到着交通量 u 、縦軸を位置 x とする図に変換する（図5-9）。すると、式(5-12)に基づき、この図上に停止位置を表現することができ、これを中心として、5-2節での分析の通り加速・減速・定速の各領域を表現することができる。更に、この図上の各点において、排出量推計モデルの排出量推計指標を u 及び x の関数 $z_*(x, u)$ ($z_*(x, u)$ は任意の単位距離当たり排出量推計指標： z_v, z_{v3}, \dots を表すものとする）として設定することができる。具体的には、式(5-12)を満たす u の場合には、5-2で基準位置（停止位置）を $x = 0$ 、その位置での遅れ時間を w としていたものを、

$$x \Rightarrow x - x_s(u) = x + \frac{1}{K_j} u$$

$$w \Rightarrow w(u) = - \left(\frac{1}{q} - \frac{1}{s} \right) u + R$$

と置き換えればよい。また、 u が式(5-12)を満たさない場合は、全区間を定速走行状態と考えて計算を行えばよい。

このようにして得られた u, x の関数 $z_*(x, u)$ を以下の通り計算することにより、それぞれ必要な集計単位での排出量推計モデルの推計指標が算出される。なお、以下では流体近似を考え積分形で書いてあるが、離散的に考えて Σ で記述しても同じである。

$$\text{距離帯別： } Z_*(x) = \int z_*(x, u) du \quad (5-16)$$

$$\text{区間全体： } Z_* = \iint z_*(x, u) du dx \quad (5-17)$$

5. 3. 2 ケーススタディによる排出量空間分布分析

上記の式を解くことにより交差点における地点別排出量が定式化されるが、条件分岐を伴う非常に複雑な式となる。ここでその導出過程を導くことは必ずしも重要ではなく、要因毎の寄与はパラメータ値によって大きく異なる。従って、ここではケーススタディとしていくつかのケースを設定して、各要因の感度を分析する。

簡単のため、全車両が5.2の計算で用いた同一車両と仮定して、第4章で推定した車両2のパラメータを用いた。また、1時間に渡って同一の交通条件、信号制御条件であると仮定し、1時間当たりの排出量を10m毎に積算して算出した。なお、本試算では片方向のみを対象としており、特に断りのない限り片方向のみの結果とする。なお、両方向の影響を示す場合には、両方向とも同一交通条件であると見なし、片方向の場合の結果を反転させて重合させる。ただし、交差点間の幅を考慮するため、両方向

の停止位置間隔を 20m とし、それぞれ停止位置±10m だけずらして重合させる。

交通条件及び信号制御条件は $C=120\text{sec}$, $R=60\text{sec}$, $V_f=40\text{km/h}$, $q=800\text{veh/h}$, $K_j=150\text{veh/km}$, $s=0.5\text{veh/sec}$ ($=1800\text{veh/h}$), $\alpha_d=\alpha_a=0.9$ を基本ケース(Case 0)として、条件を少しずつ変化させ、その感度を分析する。

ケース設定は以下の視点により設定した。

1) 加速度の影響 (Case 1)

基本ケース ($\alpha_d=\alpha_a=0.9$) に対して、加速度を 0.5 (Case1-1), 1.5 (Case1-2) に変更したケース。

2) ジャム密度 K_j の影響(Case 2)

基本ケース($K_j=150\text{veh/km}$)に対して、 $K_j=120\text{ veh/km}$ (Case2-1), $K_j=200\text{ veh/km}$ (Case2-2)に変更したケース。

3) 自由流旅行速度の影響 (Case3)

基本ケース($v_f=40\text{km/h}$)に対して、 $v_f=50\text{km/h}$ (Case3-1), 60 km/h (Case3-2) に変更したケース。

4) 交通量の影響 (Case 4)

基本ケース ($q=800\text{veh/h}$) に対して、 $q=600\text{ veh/h}$ (Case 4-1), $q=400\text{ veh/h}$ (Case 4-2)に変更したケース。

5) サイクル長の影響(Case5)

基本ケース ($C=120\text{sec}$) に対して、スプリット固定の条件で $C=80\text{sec}$ (Case 5-1), $C=200\text{sec}$ (Case 5-2) に変更したケース。

5) 青時間長の影響(Case6)

基本ケース ($G=60\text{sec}$) に対して、 $G=70\text{sec}$ (Case 6-1), $G=80\text{sec}$ (Case 6-2)に変更したケース。

試算ケース及び試算結果をまとめたもの表 5－2 に示す。

表 5－2 試算ケース及び結果

Case	交通条件				信号制御条件				旅行時間及び旅行速度			NOx排出量					
	q	V_f	α_a, α_d	K_j	C	G	Split	λ	総遅れ時間	総旅行時間	平均旅行速度[km/h]	総排出量	要因別内訳[kg]				単位距離当たり排出量[g/km/台]
	[veh/h]	[km/h]	[m/s ²]	[veh/km]	[sec]	[sec]			[sec]	[sec]		[kg]	距離	速度変動	走行時間	停止時間	
Case0	800	40	0.9	150	120	60	0.50	0.44	21900	93900	30.7	1.94	0.76	0.30	0.78	0.11	2.43
case1-1	800	40	0.5	150	120	60	0.50	0.44	21900	93900	30.7	1.87	0.72	0.29	0.79	0.07	2.33
case1-2	800	40	1.5	150	120	60	0.50	0.44	21900	93900	30.7	1.98	0.78	0.30	0.77	0.13	2.48
case2-1	800	40	0.9	120	120	60	0.50	0.44	21900	93900	30.7	1.95	0.76	0.30	0.78	0.11	2.44
case2-2	800	40	0.9	200	120	60	0.50	0.44	21900	93900	30.7	1.96	0.76	0.30	0.78	0.12	2.45
case3-1	800	50	0.9	150	120	60	0.50	0.44	21900	79500	36.2	2.02	0.84	0.45	0.63	0.09	2.52
case3-2	800	60	0.9	150	120	60	0.50	0.44	21900	69900	41.2	2.18	0.92	0.63	0.54	0.08	2.72
case4-1	600	40	0.9	150	120	60	0.50	0.33	14400	68400	31.6	1.42	0.58	0.19	0.58	0.07	2.36
case4-2	400	40	0.9	150	120	60	0.50	0.22	8017	44017	32.7	0.92	0.39	0.11	0.39	0.04	2.30
case5-1	800	40	0.9	150	80	40	0.50	0.44	14500	86500	33.3	1.88	0.76	0.29	0.78	0.05	2.35
case5-2	800	40	0.9	150	200	100	0.50	0.44	36100	108100	26.6	2.05	0.76	0.30	0.78	0.21	2.57
case6-1	800	40	0.9	150	120	70	0.58	0.44	15250	87250	33.0	1.86	0.77	0.25	0.78	0.07	2.32
case6-2	800	40	0.9	150	120	80	0.67	0.44	9800	81800	35.2	1.78	0.78	0.19	0.77	0.04	2.22

次に、比較対照ケース毎に、地点別の変化も踏まえた考察を行う。

1) 加減速度の影響

表 5－2 から示されるとおり、加減速度が大きい場合の方が総排出量も僅かながら大きくなる傾向にあるが、これは 1 台当たりの分析の場合と同じく、減速の影響による排出量の減少効果が小さくなる

ためである。一方、加減速度を変化させた場合の排出量の空間分布を図5-10に示す。大きな特徴は、加減速度の増加に伴い、停止線($x=0$)の上流側で排出量が増加し、下流側で排出量が減少している点である。これは、加速度が増加することにより、各車両の停止位置（停止線の上流側）及びその加速範囲での排出量が増加する（→上流側での排出量増大）し、その一方で停止線下流側の加速範囲が減少（→下流側の排出量低下）すること、及び、減速範囲が減少し、その区間での排出量低下分が減少すること（→上流側での排出量増大）によるものである。

ただし、1台毎の分析で示したような加速度による大きな違いはない。これは、各車両が広い範囲に渡って重合されることにより、上記の影響が相殺されるためである。また、加速度による影響が停止線の上流側と下流側で逆転しているため、双方向の交通を考えた場合、その影響はさらに相殺されて小さくなる。図5-11は双方向を考慮した場合の空間分布であるが、加速度による大きな差は見られなくなり、加速度が小さい方が交差点直近の排出量がわずかながら大きくなるような現象も見られる点が興味深い。

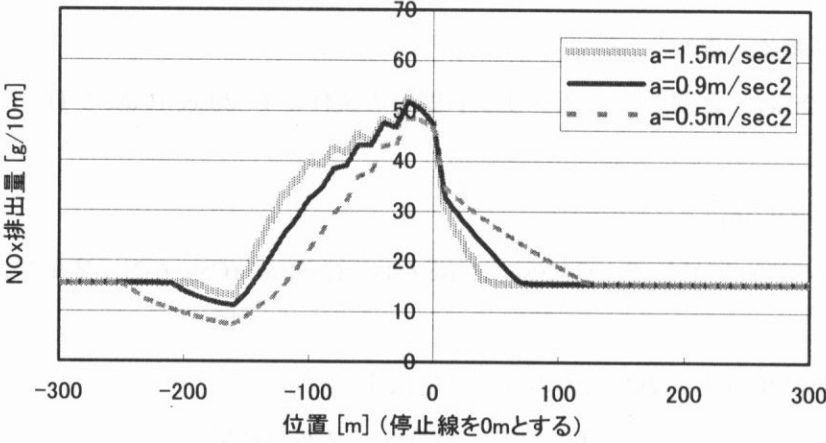


図5-10 加速度を変化させた場合の排出量の空間分布

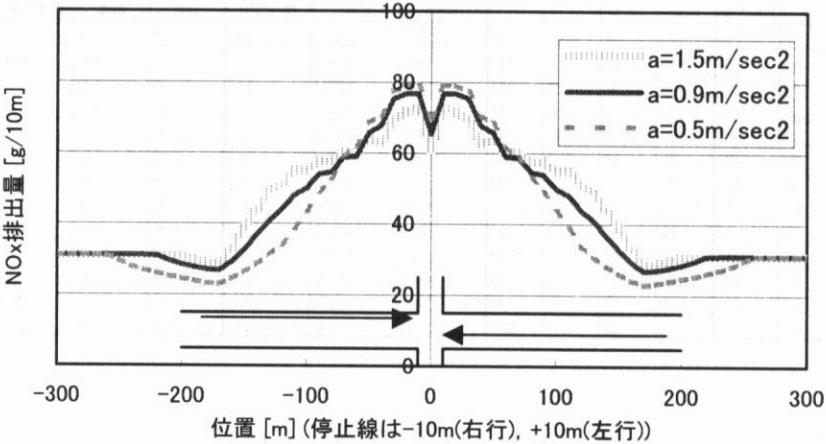


図5-11 加速度を変化させた場合の排出量の空間分布（双方向を考慮）

2) ジャム密度の影響

ジャム密度を変化させた場合の排出量の空間分布を図5-12に示す。ジャム密度が大きくなると、同じ台数の待ち行列台数でも待ち行列長が小さくなる。すなわち、停止位置の占める範囲が小さくなるため、上流側の排出量増加範囲が狭くなる傾向にある。ただし、同時に発進挙動が停止線上流近傍に集中する傾向があるため、停止線直上流での排出量はむしろ増加する傾向にある。

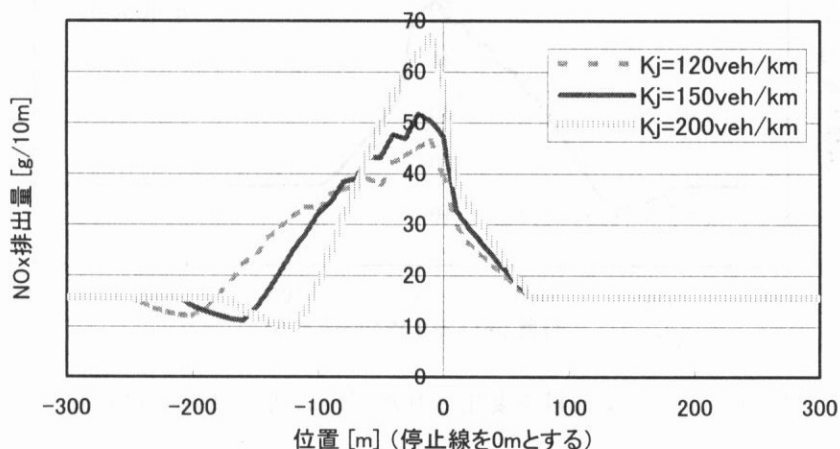


図5-12 ジャム密度を変化させた場合の排出量の空間分布

3) 自由流走行速度 V_f の影響

自由流走行速度 V_f を変化させた場合の計算結果を図5-13に示す。1台の場合の分析と同じであるが、速度が上昇すると総排出量も増加するのみならず、加速による排出量の増加及び影響範囲の増加が見られる。特に、加速時の排出量が増加するため、停止線直上流から下流の広い範囲にかけての排出量増加が見られるのが特徴である。

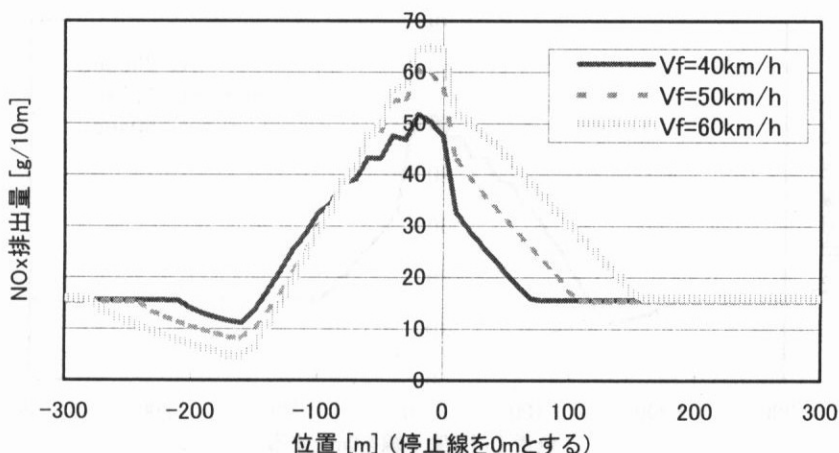


図5-13 自由流旅行速度を変化させた場合の排出量の空間分布

4) 交通量 q を変化させた場合

到着交通量を変化させた場合の結果を図5-14に示す。

交通量の減少により総排出量も減少するが、総遅れ時間の減少により、加速時の排出量及びその影響範囲も狭くなっていることがわかる。

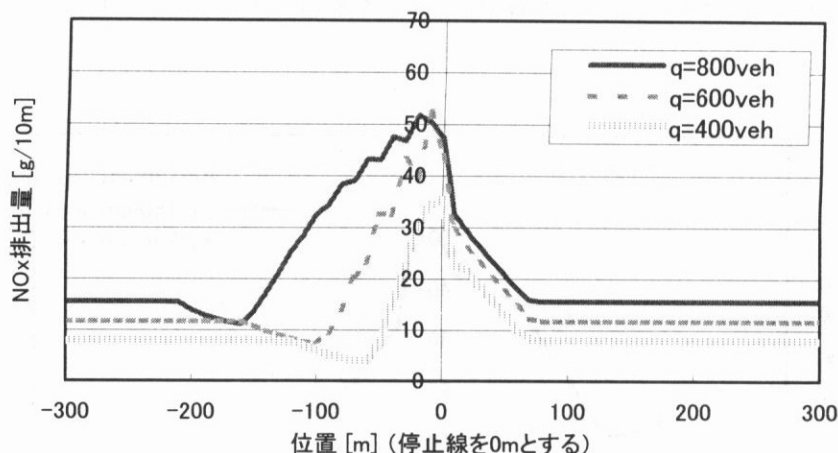


図5-14 交通量を変化させた場合の排出量の空間分布

5) サイクル長 C を変化させた場合

基本ケースに対して、スプリットを一定(0.5)のまま、サイクル長 C を 80,120,200sec と変化させた場合の結果を図5-15に示す。表5-2を見てもわかるとおり、サイクル長の増加とともに遅れ時間が増加し、それにあわせて NO_x の排出量も増加している。その一方、図5-15の排出量空間分布を見ると、サイクル長の短い場合、停止線($x=0$)周辺における排出量が鋭く立ち上っており、総排出量の増加と空間別に見た排出量増加の傾向が逆転している。遅れ時間や総排出量の観点で優れている場合でも局地的には大きな負荷が発生する場合もあり得ることを示唆している。

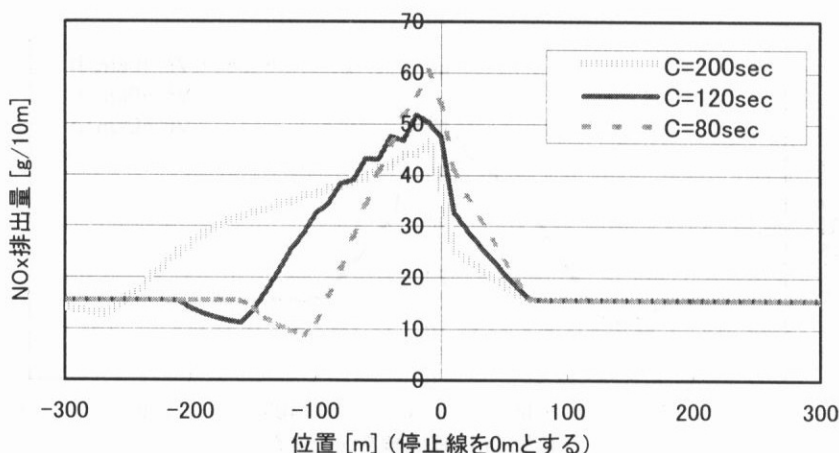


図5-15 サイクル長を変化させた場合の排出量の空間分布

6) 青時間（スプリット）を変化させた場合

基本ケースに対して、サイクル長一定($C=120\text{sec}$)のまま青時間を $G=60, 70, 80, 90\text{sec}$ に変化させた場合の結果を図5－16に示す。青時間を増加させることにより、信号で発進停止する車両数も減るため、交差点周辺の NOx 排出量も減少する。

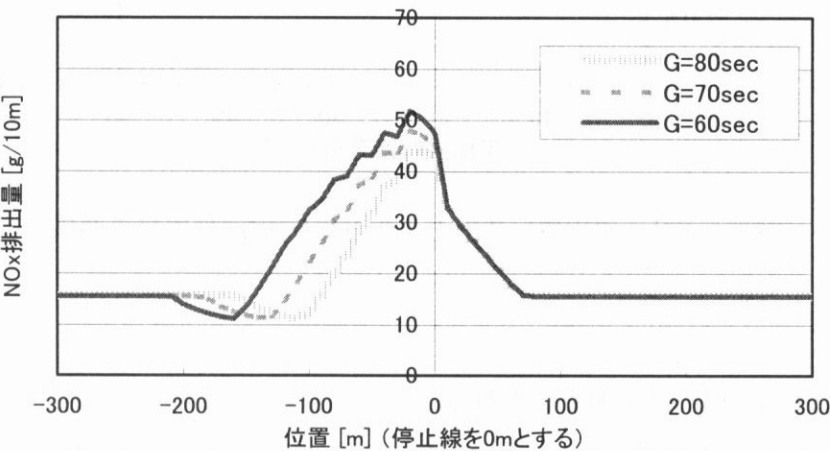


図5－16 青時間長を変化させた場合の排出量の空間分布

7) 平均旅行速度と1台当たりの単位距離排出量の関係

図5－17は本試算ケースについて、平均旅行速度と単位距離当たり1台当たりの排出量の関係を示したものである。これを見ると、概ね、一般的に言われる「交通の円滑化＝平均旅行速度の上昇により排出量を低減」に従っているものの、自由流旅行速度を増加させた場合は必ずしもこの傾向とは合致していない。平均旅行速度の上昇により排出量が減少しており、信号制御の最適化による交通の円滑化が排出量の減少につながることを示しているが、異なる道路条件の場合は必ずしも当てはまらない。交通の円滑化に伴う排出量の変化を推計する場合、しばしば旅行速度別に与えられる排出原単位が用いられるが、上記のような問題があることに留意する必要がある。

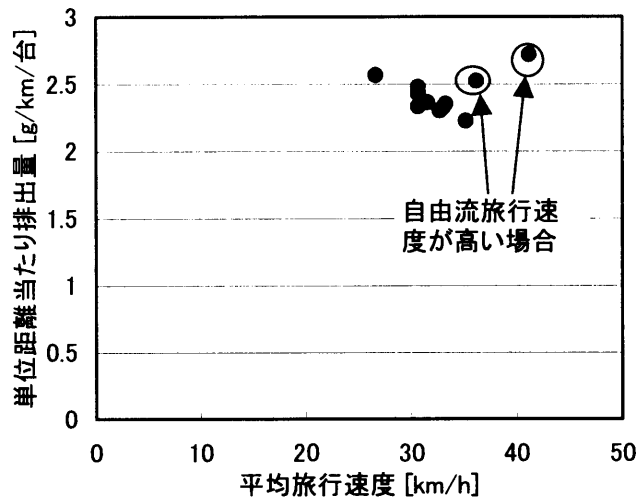


図5－17 平均旅行速度と1台当たりNOx排出量の関係

以上をまとめると、以下の通りの知見が得られる。

- ・ 加速度，ジャム密度，自由流旅行速度についてみると，加速度の影響は存在し，総排出量レベルでの変化はあるものの，全般的に影響が相殺されて空間分布としては1台当たりの分析で示されたものとの比較すると大きな変化ではない。その一方，ジャム密度，自由流旅行速度は，空間的分布及びピーク地点での排出量に大きな影響を与え，自由流旅行速度は総排出量の面からも影響が大きい。これらの知見は，自動車の走行特性の変化による影響としても整理できるが，むしろシミュレーションなどで考慮すべき再現性の観点からも非常に有用な知見である。なお，1台毎に見た場合に加速度の影響が大きいことは既に示したとおりであり，複数の車種を考慮した場合には負荷の大きな車両の挙動によっては大きな影響として現れる可能性がある。
- ・ 交通量，サイクル長，青時間などの交通制御側の要因についてみると，交通量，青時間に対する変化は遅れ時間の変化の方向と総排出量，空間別排出量のそれぞれに深く対応しているのに対し，サイクル長に対する変化は，総排出量と空間的な排出強度で傾向が逆転している。空間的な排出強度の影響が実際の濃度変化として有意か否か，考慮すべきか否かは，その交差点周辺の状況に依存するが，場合によっては，交差点周辺が非常に拡散しにくい沿道立地条件であるような場合など，大きく影響する可能性もある。これらの知見は，高濃度地点対策として交通制御を実施する場合に考慮すべき問題であろう。

5. 4 交差点周辺の排出量推計モデルの定式化

上記までの分析を更に発展させ、交差点周辺の排出量を最小化するような最適スプリットの条件を分析する。

5. 4. 1 交差点の排出量の定式化

ここでは、図5-18に示すような4枝交差点を考える。ここでは、計算を簡単にするため、対向方向の交通量が同じであると考え、計算上は片方向のみを考えることとする。排出量の推計対象は、各枝とも交差点中心から距離 l の範囲内とする。また、自由流旅行速度や平均加減速度、飽和交通流率が方向によらず同じと仮定する。これは、交差する2路線がほとんど同じような条件の道路であり、車線数も同じであるような条件であると解釈できる。

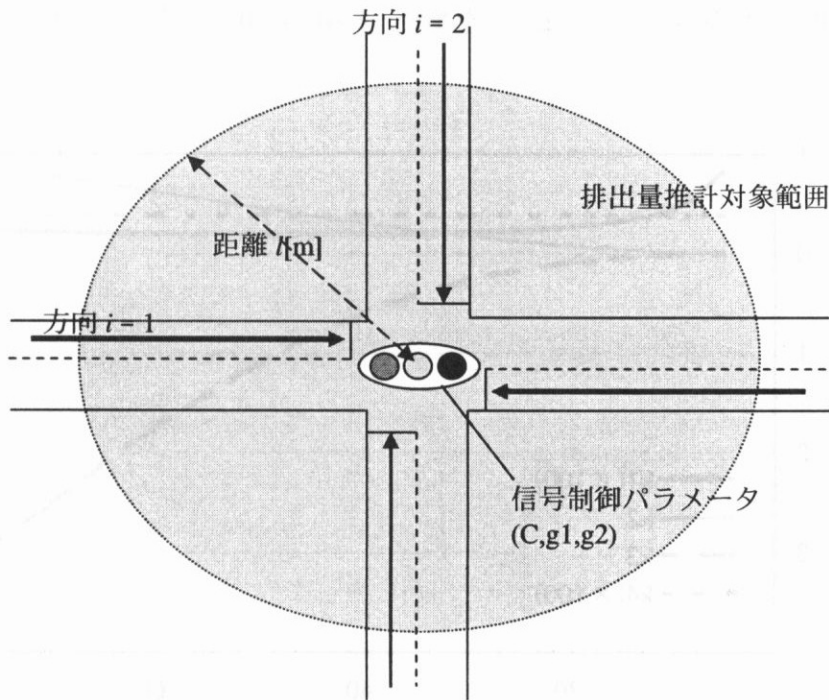


図5-18 排出量推計対象とする4枝交差点

さらに、5-2、5-3と同様、 $\alpha_a = \alpha_d = \alpha$ とする。この場合、方向 i の排出量は以下の通り定式化することができる(Appendix 9 参照)。

$$F_i = K_{li} + K_{2i}(1 - g_i) + K_{3i} \frac{1}{C} + K_{4i}(1 - g_i)^2 C \quad (5-18)$$

ただし、 $K_{li} = 2lS\lambda_i k_1$, $k_1 = c_1 + c_2 v_f^2 + c_{4r} + \frac{1}{v_f}$

$$K_{2i} = \Omega_i k_2, \quad k_2 = -c_1 \frac{v_f^2}{2\alpha} - c_2 \frac{3v_f^4}{4\alpha} + c_{3a} \frac{v_f^2}{2} + c_{3b} v_f + c_{4r-} \frac{v_f}{\alpha} - c_{4i} \frac{v_f}{\alpha}$$

$$K_{3i} = \Omega_i k_3, \quad k_3 = c_1 \frac{v_f^3}{12\alpha^2} + c_2 \frac{3v_f^5}{20\alpha^2} - c_{3a} \frac{v_f^3}{12\alpha} - c_{3b} \frac{v_f^2}{3\alpha} - c_{4r+} \frac{v_f^2}{6\alpha^2} - c_{4r-} \frac{v_f^2}{3\alpha^2} + c_{4i} \frac{v_f^2}{2\alpha^2}$$

$$K_{4i} = \Omega_i k_4, \quad k_4 = \frac{1}{2} c_{4i}$$

F_i : 方向 i の 1 時間あたり排出量[g/h], C : サイクル長[m], g_i : 方向 i のスプリット, v_f : 自由流旅行速度[m/s], α_d : 平均減速度[m/s²], α_a : 平均加速度, l : 対象区間端から停止線までの距離[m] ($2l$: 対象区間長), S : 飽和交通流率[veh/h], λ_i : 方向 i の飽和度, $\Omega_i = S \frac{\lambda_i}{1 - \lambda_i}$

なお, 上式で, $k_1 > 0$, $k_4 > 0$ は明らかである. k_2 , k_3 は式形のみからは判断できないが, 5-2 でも取り上げた車両 (車両 2) のパラメータを用いた場合, $k_2 > 0$, $k_3 < 0$ となる (図 5-19).

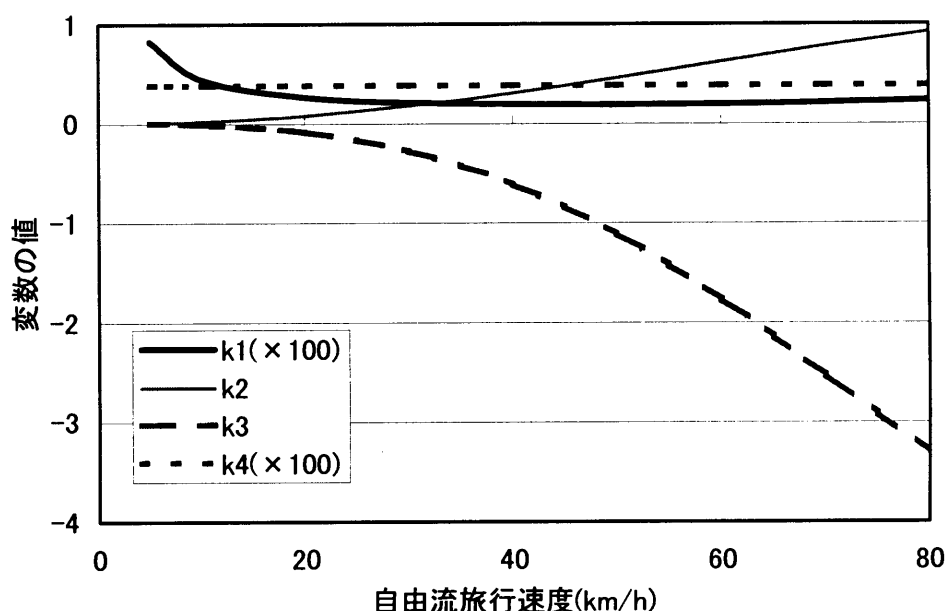


図 5-19 自由流旅行速度と各変数の値の関係

5. 4. 2 排出量を最小化する最適サイクル長, スプリットの算出

次に, 交差点での排出量を最小にするようなサイクル長, スプリットを求める. サイクル長, スプリットは以下のような最適化問題として求められる.

$$\min_{g_1, g_2, C} F = \sum_i F_i, \quad (5-19a)$$

$$\text{s.t. } g_i \geq \lambda_i \text{ for all } i, \quad (5-19b)$$

$$\sum_i g_i + \frac{L}{C} = 1 \quad (5-19c)$$

この場合、解は以下の通りとなる。

① 下記式(5-20)でいずれも $g_i \geq \lambda_i$ を満たす場合、

$$g_1 = \frac{\Omega_1}{\Omega_1 + \Omega_2} - \sqrt{\frac{\Omega_1 \Omega_2}{\Delta} \frac{2\Omega_2 k_4 L + (\Omega_2 - \Omega_1) k_2}{\Omega_1 + \Omega_2}} \quad (5-20a)$$

$$g_2 = \frac{\Omega_2}{\Omega_1 + \Omega_2} - \sqrt{\frac{\Omega_1 \Omega_2}{\Delta} \frac{2\Omega_1 k_4 L + (\Omega_1 - \Omega_2) k_2}{\Omega_1 + \Omega_2}} \quad (5-20b)$$

ただし、

$$\Delta = 8\Omega_1 \Omega_2 k_2 k_4 L + 4(\Omega_1 + \Omega_2)^2 k_3 k_4 + 4\Omega_1 \Omega_2 k_4^2 L^2 - (\Omega_1 - \Omega_2)^2 k_2^2 \quad (5-20c)$$

② 式(5-20)において、 g_2 のみについて $g_2 < \lambda_2$ となる場合、

$$g_1 = 1 - \lambda_2 - \sqrt{\frac{\Omega_1 k_4 L^2 \lambda_2^2 + \Omega_2 k_4 L^2 (1 - \lambda_2)^2}{\Omega_1 k_2 L + (\Omega_1 + \Omega_2) k_3 + \Omega_1 k_4 L^2}} \quad (5-21a)$$

$$g_2 = \lambda_2 \quad (5-21b)$$

③ 式(5-20)において、 g_1 のみについて $g_1 < \lambda_1$ となる場合、

$$g_1 = \lambda_1 \quad (5-22a)$$

$$g_2 = 1 - \lambda_1 - \sqrt{\frac{\Omega_2 k_4 L^2 \lambda_1^2 + \Omega_1 k_4 L^2 (1 - \lambda_1)^2}{\Omega_2 k_2 L + (\Omega_1 + \Omega_2) k_3 + \Omega_2 k_4 L^2}} \quad (5-22b)$$

④ 式(5-20)において、 g_1, g_2 いずれも $g_i < \lambda_i$ となる場合、

$$g_1 = \lambda_1 \quad (5-23a)$$

$$g_2 = \lambda_2 \quad (5-23b)$$

上記の解は大変複雑であり、どのような状況を意味するものなのか、式からだけではわかりにくい。そこで、「車両2」のパラメータを用いて飽和度別の最適スプリットを計算したのが図5-20である。なお、ここでは、 $\alpha_a = \alpha_d = 0.9 \text{ [m/s}^2\text{]}$ 、 $L = 10 \text{ [sec]}$ と置いている。

これらより以下のことが指摘される。

- ・ 近飽和（方向別の飽和度によるが、交差点飽和度で概ね 0.9 以上）では、交通を捌くための最小スプリットに設定するのが望ましい（上記の④に相当）。
- ・ 方向別飽和度が同じ場合、すなわち $\lambda_1 = \lambda_2$ 又は $\Omega_1 = \Omega_2$ の場合、①の条件である式(5-20)に $\Omega_1 = \Omega_2$ を代入すると、

$$g_1 = g_2 = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{k_4 L}{2k_2 L + 4k_3 + k_4 L^2}}$$

となる。これは、ある範囲内（下記例では $\lambda_1 < 0.391$ ）では常に最適スプリットはある一定の値をとる（試算例だと $g_{opt}=0.391$ ）ことを意味する。しかし、その周辺では非常に解が不安定であり、多少でも飽和度がずれると最適スプリットは大きく変動する（上記の①に相当）。

- ・ 上記以外の場合、最適スプリットは「交通量の少ない方向には必要最小限のスプリットを与え、交通量の多い方向には飽和度で規定される必要最小限よりも相当多めにスプリットを与える」ということになる（上記の②③に相当）。

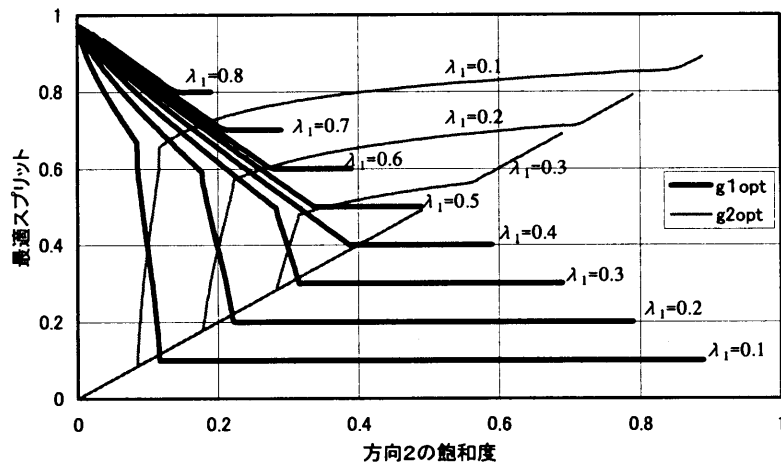


図 5 - 2 0 飽和度と最適スプリットの関係

3) 遅れ時間との比較

いくつかのケースについて、遅れ時間と排出量の変化について比較を行った。その結果を図 5 - 2 1 に示す。特に非飽和で主従の偏りがある場合、遅れ時間を最適にするスプリット配分と、排出量を最小にするスプリット配分の基準がかなり異なるため、遅れ時間と排出量の最適点も相当異なっていることがわかる。このようなケースでは、遅れ時間と排出量のどちらを優先するかを政策的に判断して決定することとなる。しかし、概して、遅れ時間の変化量よりも排出量の変化量の方が圧倒的に小さい。例えば、「非飽和、 $\lambda_1=0.5$ 、 $\lambda_2=0.1$ 」のケースが遅れ時間最小化のスプリットに比べて排出量最小化のスプリットを採用した場合の遅れ時間の減少率（＝マイナスの増加率）が最も大きくなるが、それでも 4 % にも満たない。

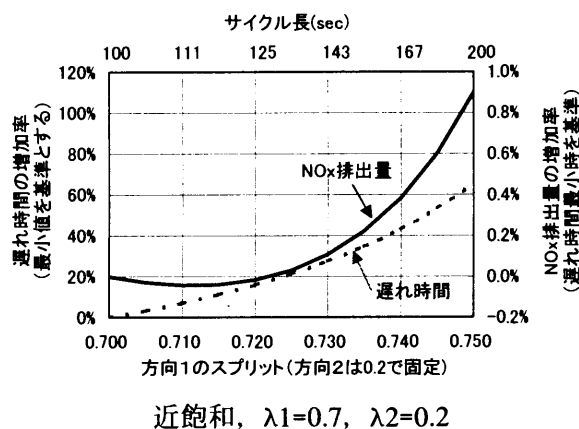
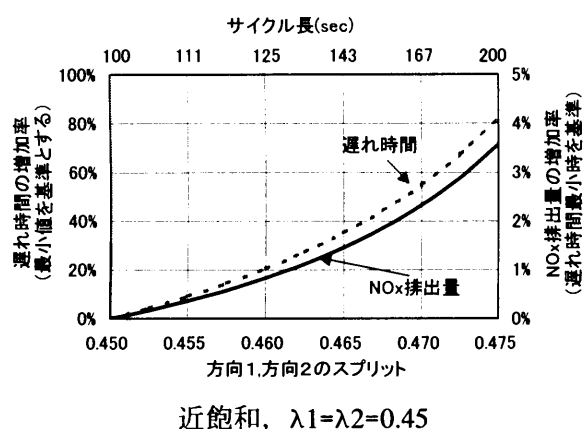
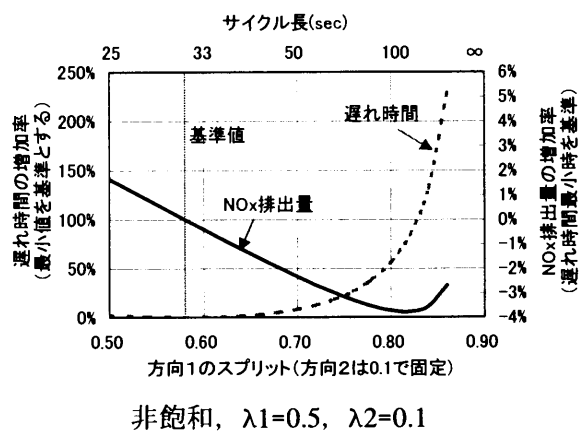
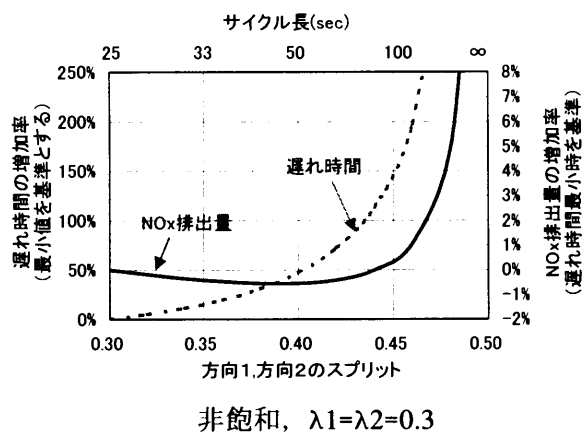


図5-21 遅れ時間、排出量の関係（飽和度別）

さて、上記の結果を、前節にて示した単一方向の分析結果と照らし合わせながら考察してみよう。前節で示した単一方向の分析で示したように、スプリット固定でサイクル長を増加させると遅れ時間、総排出量はともに増加し、サイクル長固定でスプリットを増加させると遅れ時間、排出量はともに減少する。ところが、本分析では、損失時間 L を固定の条件でスプリットを変化させているため、同時にサイクル長も変化している。この場合、いずれかの方向、あるいは両方向のスプリットを増加させると、それに応じてサイクル長も増加する方向に動く。すなわち、“スプリット増加”と“サイクル長増加”は遅れ時間、排出量いずれの面からも相反する方向に動くことになるため、この2つの操作を同時に行うことにより遅れ時間、排出量が増加／減少のどちらの方向に向かうかはケースバイケースとなる。従って、「非飽和, $\lambda_1=0.5, \lambda_2=0.1$ 」のケースのように遅れ時間が増大してもなお排出量が減少するようなケースも出現することとなる。このようなケースは、前節の単一方向の分析結果でも見られる（case5-1と case6-1）。

一方、上記の結果は遅れ時間と停止回数の関係からも解釈することができる。遅れ時間最小化に対して、排出量最小化スプリットは、遅れ時間＋停止回数の重み付け線形和を最小化することに相当する。これは、第2章で示した「要素分割モデル」の考え方に相当するものである。従って、遅れ時間が卓越

しない範囲（つまり飽和度が比較的小さい場合）には停止回数を極力減らす方向にスプリットを振る方向が良いことになる。ただし、ある程度飽和度が大きくなると、遅れ時間の項が卓越してくるため、両方向を流すための最小限のスプリットを与えて、サイクル長を最小にする方向に動くことになる。なお、上記で示した“スプリット増加”と“サイクル長増加”を同時に行う場合、遅れ時間の増減は状況に依存するが、停止回数は減少する方向にある。従って、この場合に遅れ時間が増加しても停止回数の減少の効果が卓越する場合は、排出量が減少する方向に向かうことになる。

なお、過去にも類似の分析はいくつか行われている。Reljic¹⁾は、シミュレーションモデル TRAFSIG に要素分割モデルを組み合わせ、複数の最適化指標に基づいた事例分析を行っているが、燃料消費量最適化と停止時間最適化がほぼ同じような傾向にある結果となっていた。上記の考察から考えるとこのケースは飽和度に余裕がある場合であると考えられる。

一方、近飽和～過飽和になると、待ち行列中における停止回数の増加（複数停止）による排出量増加の影響がある。Akcelik²⁾は、この影響を指摘し、要素分割モデルを用いた試算及び要素分割モデルの優位性を示していた。しかし、複数停止の影響は正確には要素分割モデルでは表現できない。これは、停止1回でも交差点での停止・発進と渋滞流中では排出量への影響が異なるためである。このような分析にもここで提案したモデルは有効であろう。

5. 5 第5章のまとめ

本章では、4章の排出量推計モデルに基づき、簡略化した停止・発進挙動に伴う排出量の変化を分析するとともに、更に交差点周辺の排出量に拡張させ、信号の制御パラメータと排出量の関係を分析した。このように式上で様々な分析が行えるのが、車両挙動と排出量の関係を踏まえて論理的に組み立てたモデルの大きな特徴であると言える。例えば、速度・加速度別の排出量テーブルを与えるようなモデルでは、排出量と車両挙動の論理構造が明確でないため、シミュレーション的なアプローチに依らざるを得ず、また結果として出てきた値を解釈するのは非常に困難である。その点、ここで示したようなアプローチでは排出量に寄与する要因及び排出量低減するための方向性を明確に与えることができる。

本章で得られた結果として最も重要なのは、排出量の空間的分布を捉えるためには停止位置及びそれを中心とした加減速範囲を適切に捉え、更にその範囲での速度・加速度変化を捉えることが必要であるという点である。1台当たりの排出量についてある区間の排出量の総量を捉える場合、加速度の違いによる変化はあるものの影響は小さい。一方、空間分布で見ると加速度の違いによる排出量の変化は非常に大きく、これらを適切に捉えることが必要である。ただし、交差点周辺の車両挙動を車群として捉えた場合、その影響は空間全体としては相殺されて比較的小さくなるという点も興味深い知見である。この場合、むしろジャム密度など停止位置の広がりにも影響を与える要素を適切に捉えることの方が排出量の空間的分布の把握には重要となる。同様に、自由流旅行速度の違いは加減速範囲、加速時の排出量の双方にも大きく影響するため、排出量への影響が非常に大きいことがわかる。

その他、信号制御との関係について興味深いのは、多くの場合遅れ時間と排出量の関係は概ね一致しているものの、必ずしも同値ではないということと、総排出量の大小関係と、ピークの排出量の大小関係が逆転する場合があります。このようなトレードオフを考慮するためには、それぞれの地点の状況を踏まえ、制御の政策目標を設定した上で最適な制御を決定することとなる。しかしながら、最適サイクル長・スプリットの検討で示された通り、一般に遅れ時間の変化量（感度）に比べて排出量の変化量（感度）は非常に小さい。また、交通量が多い場合（近飽和の場合）には、排出量最小化と遅れ時間最小化は等価となる。これらを総合して考えると、原理的に排出量を最小化する信号制御はあり得るが、その効果は遅れ時間を制御目標とした場合と比較してもそれほど大きくない。

但し、ここで対象としているのは車種に依らず一律に制御を行う場合を想定したものである。より負荷の大きな車両（ディーゼル大型貨物車など）に的を絞った制御（優先制御、経路誘導、流入抑制等々）や、全体の対象地域への流入抑制などの手段として考えれば、信号制御による排出量の低減は十分にある可能性がある。また、本分析では、孤立交差点における一様な到着流の非常に単純なケースを設定している。複数交差点における系統制御の効果は孤立交差点のケースに比べても非常に大であると考えられるし、実際にシミュレーション分析によりその効果を示した例も見られるが³⁾、本モデルのような枠組みを用いた理論的な考察に基づき排出量の観点から最適な系統制御のあり方（オフセットの設定方法、最

適サイクル長の考え方など)を示すことは今後の課題として取り組むべきものとする。この際、単純に総排出量を削減するという視点だけではなく、例えば、より負荷の高い交差点の排出量の削減など、評価の視点に応じた様々な制御手法が考えられるであろう。

第 5 章の参考文献

- 1) S. Reljic : TRAFSIG: a computer program for signal settings at an isolated, under- or oversaturated, fixed-time controlled intersection, Traffic Engineering + Control, pp.562-566, Nov. 1988.
- 2) R. Akcelik : Fuel efficiency and other objectives in traffic system management, Traffic Engineering + Control, 1981.2, pp.54-65, 1981
- 3) D.I. Robertson, C.F. Lucas and R.T.Baker : Coordinating Traffic Signals to Reduce Fuel Consumption, Transport and Road Research Laboratory TRRL Report, LR 934, 1980