

走行シミュレーションモデルによる排出ガス量の 推計とその応用に関する一考察

An Application of Vehicle Running Simulation Method
for Estimation of Exhaust Gas Volume

寺 本 議・西 村 昂・日 野 泰 雄

By Yuzuru TERAMOTO, Takashi NISHIMURA, Yasuo HINO

In order to reduce exhaust gas volume in urban area, the traffic control scheme should be planned more effectively. This means also it is essential to develop the estimation method for exhaust gas volume in various traffic conditions.

In this study, the Vehicle Running Simulation Model, which had been developed to estimate the driving modes of vehicle and the associated exhaust gas volume, were improved to more practical one. In addition, an example of the exhaust gas volume reduction by a traffic control scheme, based on this improved simulation model, was discussed through some case studies.

1. はじめに

自動車排出ガス量の低減に向けた取り組みは、種々の側面から試みられてきたにもかかわらず、依然決定的な改善策を見いだすには至っていない。このことから、今後それぞれ個別の対応策を継続、強化するだけでなく、これまでとは異なった視点からのアプローチの検討も必要であり、そのためには、現在、あるいは将来にわたって様々な状況に応じた

排出ガス量の実態や動向の把握が必要となる。

そこで本稿では、これまでに開発してきた自動車走行モード推計のための走行シミュレーションモデル¹⁾を改良し、かつその適用範囲を拡張することによって、交通制御方策に伴う排出ガス量低減程度の評価などに応用し、排出ガス量の低減に向けた交通制御方策の検討システムの提案を試みることにした。

2. 走行シミュレーションモデルによる排出ガス量の推計

2.1 走行シミュレーションモデルと排出ガス量推計の概要

ここで用いる走行シミュレーションモデルは、主として、信号部での車両の停止、発進状況から区間内の走行状態（つまり、走行モード）を再現しようとするものであり、これによって得られて各走行状態毎に排出ガス原単位を用いて排出ガス量を算出することができる。そのプロセスを図-1に示す。

キーワード：排出ガス量，走行シミュレーションモデル，交通制御

* 正会員 工修 大阪市計画局
(〒530 大阪市北区中之島1-3-20)

** 正会員 工博 大阪市立大学教授 工学部
土木工学科 (〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138)

*** 正会員 工博 大阪市立大学講師 工学部
土木工学科 (同上)

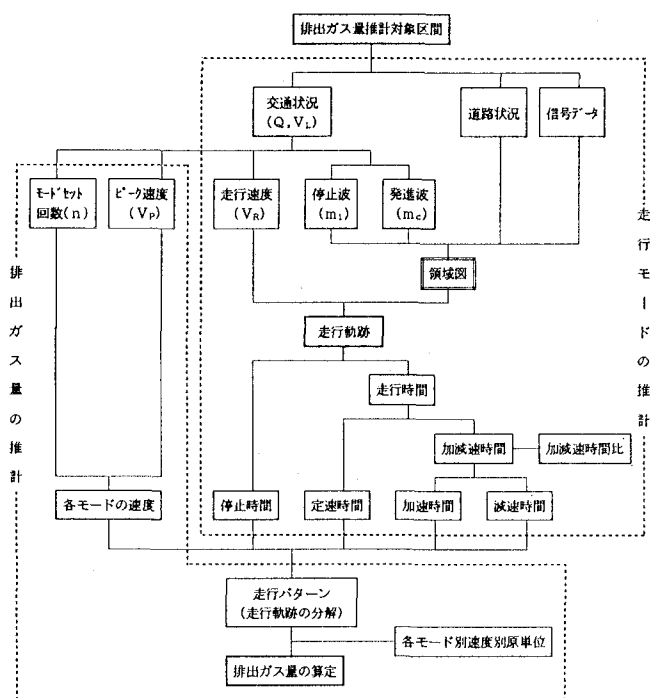


図-1 走行シミュレーションモデルのフロー

また、図-2には、このモデルを用いて得られる走行軌跡と各モード構成および当該区間走行時の排出ガス量の算出結果を示す。これらの推計精度については、これまでにいくつかのケーススタディを通じて、その有用性を示してきた。しかしながら、本稿の目的である応用・実用化に向けては、その一般性の拡張などいくつかの課題が残されていた。そこで

次節では、精度の向上に加えて、より広範囲の条件にも適用できるよう、これらの課題への対応策を検討することとした。

2.2 排出ガス量推計のための汎用モデルの構築

従来のモデルでは、複雑な走行状態を平均的に表現するため、次のようないくつかの仮説（仮定）を導入していた。

- 1) 車両の停止・発進あるいは走行と停止の状況は、信号現示長と停止や発進の遅れによって設定される領域に従う。
- 2) 交通状況に応じて走行速度は一定とする。（具体的にはこれを交通量ランク毎に設定した回帰式から算出した。）
- 3) 交通状況を表現するための交差点流入交通量は推計区間内では一定とする。

これらの仮定に基づく推計は、前述のように平均的な状況を表現し得たものとなっているが、特に排出ガス量の推計では、平均値を中心とした変動の大きさに伴って大きな誤差が生じることもある。

そこで、これらの仮定により実際の条件を考慮することによって、汎用的に排出ガス量の推計を可能にすることを目指すこととした。

(1) 有効青現示時間と走行状態の設定

各対象区間では、図-2に示すようにその間の信号現示と停止、発進の遅れの状況から、走行状況が設

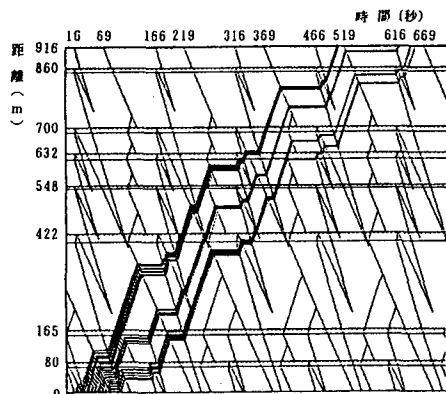


図-2 走行シミュレーションモデルによる走行状態と排出ガス量の推計例

【交通量：26.8 (×10⁻² 台/青1秒/車線)】

到着順位	総停止時間 (sec)	総走行時間 (sec)	総旅行時間 (sec)	空間平均速度 (km/h)	停止モード割合 (%)	加速モード割合 (%)	定速モード割合 (%)	減速モード割合 (%)
1	496.8	263.1	760.0	4.34	65.4	4.4	26.8	3.5
2	493.7	263.1	756.8	4.36	65.2	2.9	29.5	2.4
3	490.5	263.1	753.7	4.38	65.1	3.0	29.6	2.4
4	487.2	263.1	750.3	4.39	64.9	3.0	29.7	2.4
5	483.5	263.1	746.6	4.42	64.8	3.0	29.9	2.4
6	479.9	263.1	743.0	4.44	64.6	3.0	30.0	2.4
7	484.4	263.1	747.5	4.41	64.8	1.7	32.2	1.3
8	481.2	263.1	744.3	4.43	64.7	1.7	32.3	1.4
9	478.1	263.1	741.2	4.45	64.5	1.7	32.5	1.4
10	479.3	263.1	742.5	4.44	64.6	8.8	19.6	7.1
11	476.2	263.1	739.3	4.46	64.4	8.8	19.7	7.1

定されるが、実際には、例えば渋滞時にみられるように、当該交差点の信号が青現示であっても、下流側の信号や渋滞車列等の影響により停止を強いられることがある（図-3）。従って、実際に車面が通過し得る青現示時間（有効青現示時間）は、本来の有効青現示時間（通常、青現示時間+黄現示時間）から下流側の影響による損失時間を差し引いたものとする必要がある。

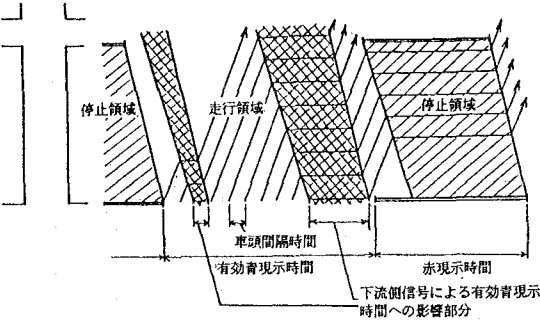


図-3 有効青現示時間の修正

(2) 平均走行速度の設定

これまでのように、実走行調査の結果から得られた回帰式を用いた場合、一般性という観点からは問題がないとは言えず、また区間毎に走行状態や走行速度が異なることも多い。そこで、本稿では本モデルより得られる各区間の領域図から走行時間と平均走行速度を算出することとした。

(3) 各区間への流入交通量の設定

交差道路の規模や交通需要（到着交通量）が十分にはない非渋滞時には、直進車による第1車群交通量と交差道路からの流入交通量（右左折車による第2車群）が大きく異なると考えられる。しかし

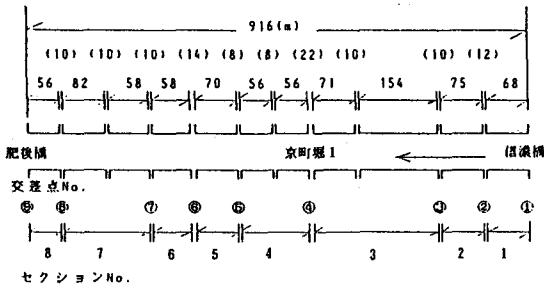


図-4 ケーススタディ区間の概要

ながら、ここではむしろ、渋滞を中心とした場合を想定しているため、このような状況は例外として扱うことが妥当であるとした。

3. ケーススタディによるモデル改良の評価

3.1 ケーススタディの概要

ここでは、ケーススタディを通じて、モデル改良の方向、あるいはその程度を検討するため、改良モデル（前述の(1)、(2)の2点を改良したもので、ここではモデル①と呼ぶ）と従来モデル（現行の走行シミュレーションモデルをモデル②、領域図モデルをモデル③と呼ぶ）²⁾による推計精度を比較・評価することにした。

ケーススタディには、これまで数多くの実走行調査が実施され、十分データが蓄積されている大阪市四ツ橋筋の信濃橋～肥後橋間（区間長：916m、北行き5車線一方通行）をとりあげることにした。その区間の概要を図-4、表-1に示す。

3.2 走行特性値推計結果の評価

本モデルの精度を評価検討するため、旅行時間と停止モード時間構成率を代表的走行特性値として推計し、これについて次の2通りの方法（代表値（平均値）による比較と推計幅への適中率による比較）を用いることとした。

(1) 代表値（平均値）による評価

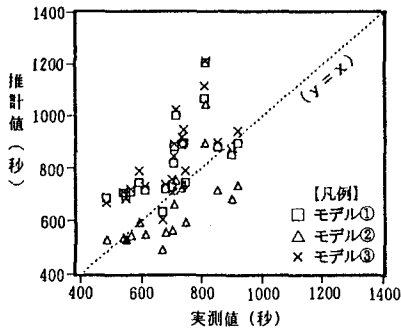
比較結果を図-5に示す。これより旅行時間、停止時間構成率のいずれの推計においてもモデル①は精度上モデル②と③のほぼ中間的位置にあり、いずれの場合も誤差率は10～20%程度であることがわかる。

表-1 ケーススタディ区間における交差点信号データ

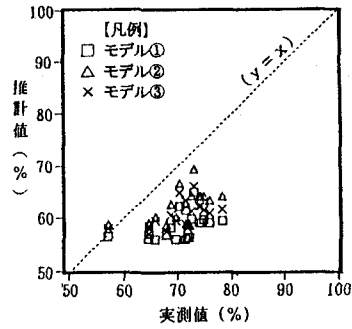
信号現示		青 ¹⁾	赤	合計	オフセット ²⁾
交差点名	(sec)	(sec)	(sec)	(sec)	(sec)
① 信濃橋	87	63	150	+15	
② (IBM前)	98	52	150	-	
③ 初公園前	104	46	150	0	
④ 京町堀1	98	52	150	+15	
⑤ (花ふさ前)	98	52	150	+15	
⑥ 江戸堀1	96	54	150	+15	
⑦ (日日新聞社前)	98	52	150	+15	
⑧ (肥後橋南)	72	78	150	+15	
⑨ 肥後橋	53	97	150	+16	

注 1) 黄現示時間（3秒）を含む

2) ここでのオフセットは、交差点⑨を基準とし遅れを（+）で示す



(a) 旅行時間



(b) 停止時間構成率

図-5 実測値と推計値の比較

(2) 推計値幅 (上・下限値のレンジ) の適中率による評価

ここでは、同一の交通条件でも実測値にかなりのバラつきが存在することから、平均的な推計値に一定の幅をもたせ、この推計幅に含まれる実測値の割合をもって適中率とすることにした。その結果、誤差の許容範囲を±20%とした場合の適中率をみると、モデル②の適中率が約95%であるのに対して、モデル①では約80%の適中率にとどまることがわかった。

(3) 総合的評価

以上の走行特性の推計結果をまとめると、モデル①の精度は、モデル②(従来タイプのモデル)よりも若干低く、モデル③(領域図モデル)よりも若干高くなっており、一般性と操作性の点で改善された分、これらとトレード・オフの関係にある精度が若干低下したことがわかる。しかしながら、その程度はそれほど大きいものではなく、実用上ほとんど問題ないといえる。

3.3 排出ガス量推計結果の評価

排出ガス量の推計では、表-2に示すように、走行特性の場合のような明確な傾向はみられず、モデル①による結果がむしろ高い精度を示すケースもあることから、概ね大きな問題を残すことなく一般性が改善されたと判断されよう。

表-2 排出ガス量の推計精度の比較

(1) 渋滞領域Ⅰの例 (走行パターンA: $Q = 29.0 \times 10^{-2}$ 台/青1秒/1車線)

53年規制乗用車 (2000cc)				
推計項目	実測値	モデル①	モデル②	モデル③
走行状況				
旅行時間(秒)	898	849	682	866
区間速度(km/h)	3.89	3.89	4.83	3.81
モ				
停止(%)	75.9	59.0	63.3	61.4
加速(%)	8.6	5.3	8.0	—
減速(%)	11.4	4.3	6.4	—
定速(%)	4.1	31.3	22.3	38.6
排出ガス状況				
NO _x 排出量(g/台)	0.20	0.21(5.0)	0.19(5.0)	0.21(5.0)
CO排出量(g/台)	2.10	2.50(19.0)	2.17(3.3)	2.52(20.0)
HC排出量(g/台)	0.47	0.59(25.5)	0.49(4.3)	0.60(27.7)

(2) 渋滞領域Ⅱの例 (走行パターンB: $Q = 34.2 \times 10^{-2}$ 台/青1秒/1車線)

53年規制乗用車 (2000cc)				
推計項目	実測値	モデル①	モデル②	モデル③
走行状況				
旅行時間(秒)	454	707	543	713
区間速度(km/h)	7.69	4.68	6.12	4.63
モ				
停止(%)	68.7	56.4	58.8	58.1
加速(%)	13.6	9.4	14.7	23.1
減速(%)	9.9	7.6	11.9	18.7
定速(%)	7.8	26.5	14.6	—
排出ガス状況				
NO _x 排出量(g/台)	0.22	0.19(13.6)	0.17(22.7)	0.18(18.2)
CO排出量(g/台)	2.88	2.18(24.3)	2.04(29.2)	2.12(26.4)
HC排出量(g/台)	0.44	0.50(13.6)	0.41(6.8)	0.50(13.6)

注) ()内は誤差率(%)を示す。

$$\text{誤差率} = \frac{|\text{実測値} - \text{推計値}|}{\text{実測値}} \times 100 \quad (\%)$$

4. 走行シミュレーションモデルを適用した排出ガス低減策検討システム

4.1 基本的な考え方とシステムの構成

交通流改善策には、道路整備など容量の増強(施設整備)による排出量の低減とその分散を目指すものと、交通制御による交通集中の緩和、交通流の誘導あるいは交通量抑制による発生源そのものの削減を目指すものがある。ここでは、後者の考え方に基づいて、排出ガス量の低減を実現するため前述の改良型モデルを用いて、交通制御方針に伴って変化する交通状況下の排出ガス量を推計し、その結果が

ら、交通状態に応じて効果的な交通制御方策を導入するといった動的プロセスを検討することとした。

本モデルの応用を前提とした排出ガス量削減のための交通制御システムは、概ね図-6のように構成される。また、このシステムで運用すべき制御方式には、表-3のようないくつかの例が考えられよう。

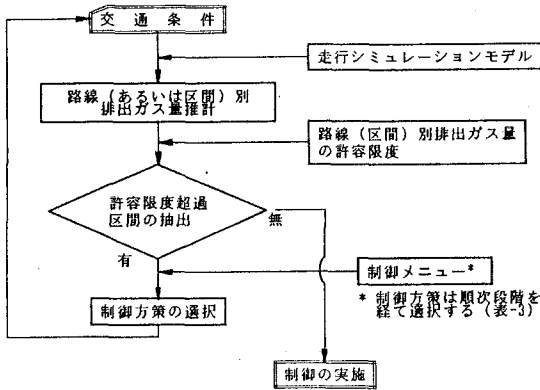


図-6 本モデルを用いた排出ガス量低減策検討のための支援システム³⁾

表-3 排出ガス量低減のための交通制御策³⁾

実施段階	方策の種類	実施による効力	実施上の難易度	問題点
1	信号制御方式の変更	△	◎	広域制御が既に実施されており、大きな効果が期待できない。
2	情報による経路の案内誘導	△	○	情報による誘導効果が明確でなく、情報内容や提供方法の検討が必要。
3	特定車種の通行規制(時間、場所)	○	△	法的裏付けが必要。迂回路の設定、強制力(取締り)方法の検討が必要。
4	道路プライシング等による需要抑制と経路の分散化	○	×	社会的コンセンサスが必要。既存の有料道路との調整や流出入路の設定と料金徴収方法等に問題が多い。

注) 効力の欄の記号は、○：効果大、△：効果小を表す。
難易度の記号は、◎：容易、○：比較の容易、△：難しい、×：極めて難しいを表す。

表-4 信号制御の変更に伴う排出ガス量の評価

(1) 渋滞領域Ⅰ (Q=29.00×10 ⁻² 台/青1秒/車線)										
ケース*	旅行時間(秒)	区間速度(km/h)	モード構成率(%)				53年規制乗用車(g)			
			停止	加速	定速	減速	NO _x	CO	HC	
1	849.12	3.89	58.96	5.34	31.38	4.32	0.365	0.990	0.262	
2	818.06	4.04	58.03	5.89	31.31	4.77	0.370	1.137	0.261	
3	898.92	3.68	60.11	3.99	32.67	3.23	0.352	0.810	0.262	
(2) 渋滞領域Ⅱ (Q=34.20×10 ⁻² 台/青1秒/車線)										
ケース*	旅行時間(秒)	区間速度(km/h)	モード構成率(%)				53年規制乗用車(g)			
			停止	加速	定速	減速	NO _x	CO	HC	
1	707.09	4.68	56.41	9.44	26.51	7.64	0.378	1.424	0.271	
2	670.26	4.95	54.13	9.78	28.18	7.91	0.370	1.384	0.265	
3	756.53	4.36	57.78	6.24	30.93	5.05	0.361	1.143	0.247	
(3) 中間領域 (Q=35.10×10 ⁻² 台/青1秒/車線)										
ケース*	旅行時間(秒)	区間速度(km/h)	モード構成率(%)				53年規制乗用車(g)			
			停止	加速	定速	減速	NO _x	CO	HC	
1	438.78	7.52	45.28	10.04	36.55	8.12	0.277	1.059	0.186	
2	434.88	7.59	45.22	10.40	35.97	8.41	0.276	1.036	0.186	
3	423.42	7.81	37.95	11.00	42.14	8.90	0.278	0.928	0.193	

* ケース1, 2, 3はそれぞれ「現況」、「オフセット固定(=0)」、「赤現示比固定(=0.4)」による信号制御方式を示す。

4.2 システム運用のためのケーススタディ

先のシステムは一定規模のネットワークに本モデルを適用することによって、対象ゾーン内の排出ガス量の低減を目指すものであるが、その基本はネットワークの各路線への分割と各路線毎における交通制御方策とそれに伴う排出ガス量の推計にある。そこで、ここでは単一路線への適用を例に、信号制御方式の違いによる交通状況の変化とそれに伴う排出ガス量の変化状況を推計・評価することにした。

なお、ここでは信号制御方式の違いが、交通の流れや排出ガス量にどのような影響を及ぼすかを明らかにするため、次のような典型的な3つの信号制御のケースを設定することにした。

【ケース1】現状の方式(捌け交通量最大化を目的にした最適オフセットによる方式)

【ケース2】オフセットを0とする方式(渋滞を前提にむしろオフセットを考慮しない方式)

【ケース3】青(赤)現示比一定方式(交差道路の規模等に係わらず現示比率を一定にする方式)

交通流リンク別に本モデルを適用した結果を表-4及び図-7に示す。この結果から概ね次のようなことを指摘することができる。

① 渋滞現象の解消に伴って、いずれも旅行時間は短くなり、これに併せてCO、HCも減少するが、NO_xは渋滞Ⅱで若干増加する傾向にある。このNO_xの増加は、渋滞の緩和に伴う加(減)速モードの増加によるものといえる。

② 信号制御ケース毎の走行特性を比較してみると、渋滞時には、信号現示の変化と走行状態の対応が曖昧となる(つまり、赤現示中にも断続的にノロノロ進むなどの状況が生じる)ため、むしろオフセットを考慮しない方が旅行時間は若干短縮されるが、これは①の状況に対応し、むしろ、NO_xなどは増加している。但し、渋滞の程度が緩和されるにつれて、旅行時間にみられる改善は定速モードの増加として現れるため、排出ガス量の改善と対応するようになるといえる。

③青現示比一定(= 0.6)の場合、渋滞域をはじめとして改善はみられない。加えて、交差交通への影響を考えれば、適切な信号制御方式とは言えない。

②その一例として、いくつかの信号制御方式毎に生じる排出ガス量の差異を示した。

5. まとめと今後の課題

5.1 主な結果のまとめ

(1) モデル改良の考え方とその評価

- ①走行シミュレーションモデルの考え方を整理し、実用化に向けて、一般性向上を目的とした改良の方法を示した。
- ②具体的には、走行速度の設定および領域図作成時の有効青現示時間設定に際して、それぞれ改良の方法を提案し、ケーススタディを通じて、一般性が向上するとともに、そのことが精度に与える影響も比較的少ないことを示した。

(2) 排出ガス量低減策検討への本モデルの応用

- ①本モデルによる排出ガス量推計プロセスを応用することによって、排出ガス量低減策を検討することが可能である。つまり、ある交通条件下での排出ガス量を本モデルにより推計し、路線(区間)毎に効果的な対策とその程度(レベル)を判断し、最終的には排出ガス量の許容限度を越える路線の解消や排出ガス総量の最小化が達成されるような制御方策の提案が可能になると考えられる。

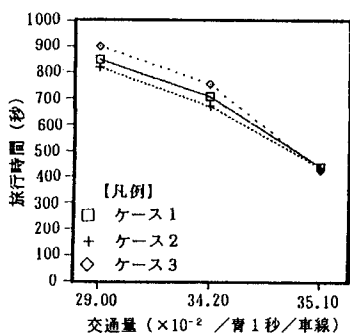
5.2 今後の課題

本稿では、理論面の検証を中心として、単一路線を対象にモデルの改良とその応用の考え方を示した。したがって、今後は、これを連続的に扱うことで道路網への適用を具体的に検討することが必要となる。

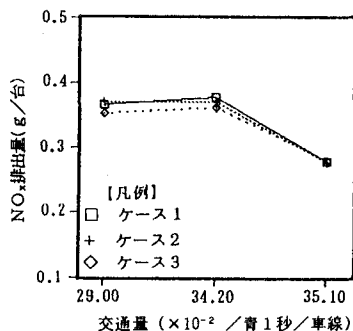
また、拡散現象モデルとの併用により、排出ガス量から排出濃度に換算することで、環境基準を考慮した評価へと拡張することも必要となろう。

参考文献

- 1)例えば 西村, 日野, 布川: 走行シミュレーションモデルによる自動車排出ガス量に関する一考察, 土木計画学研究・講演集 No.8, PP.105~112, 1986.1
- 2)西村, 日野, 寺本: 自動車走行モードに基づく排出ガス量の予測方式に関する一考察, 土木計画学研究・論文集 No.7, pp.283~288, 1989.12
- 3)日野泰雄: 自動車排出ガス量推定のための走行モード推定モデルに関する研究, 大阪市立大学学位論文, 1990.10



(a)旅行時間



(b)NOx排出量(53年規制乗用車)

図-7 信号制御変更に伴う排出ガス量の推計結果