

信号停止モデルによる自動車走行モードの予測について

大阪市立大学工学部 正員 日野 泰雄
大阪市立大学工学部 正員 西村 昂

はじめに

自動車排ガスの成分及び排出量は自動車の走行モードによって変化するため、排ガス量の推定には走行モードの予測が基礎となる。又、走行モード構成の予測方法としては、従来から平均速度別のモード構成率を求める方法や試験走行の結果を各モードにふりわけける方法等が行なわれているが、本稿では信号停止モデルに基づいた予測方法を提案するとともに、試験走行による実測値との比較、あるいは、問題点について考察し、その実用性を検討しようとするものである。

1. 定常流に対する予測方法

1-1. 基本的な考え方----定常的な交通流は信号制御された交差点部に於いて、赤現示により必ず減速・停止・加速の走行モード変化を強いられる。この様に、信号制御が走行モード構成に影響を与えるため、信号停止モデルを作成し、これに基づいてモード変化を推定する方法を考える。これは次の2つの部分から構成される。

- 1) 停止率を求めるサブモデル
- 2) 停止車の各モード構成を求めるサブモデル

すなわち、赤現示によって停止する交通量を推定することによって停止車の走行モード構成を求め、停止しない交通に対しては定速走行を仮定することによって全ての交通に対する走行モード構成を求めることになる。

1-2. 基礎調査

(1) 信号停止モデルの作成----信号停止モデルの作成のために必要な調査として以下のものが挙げられる。

1) 走行モード領域の境界線の設定;各々のモード領域をS-T図上に確定するために必要な停止波、発進波、減速波、定速波及び停止台数と行列長の関係等を調査する。

2) 信号停止率の推定;信号現示に関する諸元交通流の流入パターン等を調査しこれにより停止率を設定する。

3) 流入交通量パターン;直進流入交通量と左右折流入交通量を現示毎に観測し、パターン化する。

4) 試験走行(実測値)との比較;走行モードをタコグラフにより実測し、モデル値(理論値)と比較できるようにする。

(2) 結果----主な調査結果を以下に列挙する。

1) 停止率;交差点によってほぼ一定の値をとり、15サイクル別の平均停止率と平均交通量との関係をみて、交通量による大きな変化は見られない。

2) 交通量時間分布;平均値と10秒当りの流入分布量で表わせば、青現示と流入量の関係からほぼ一様な分布又はその後半が低減するパターンで表わされる。

3) 停止台数と行列長;直線関係を示すが、大型車混入率によって勾配が変化すると考えられる。

4) 停止波と発進波;直線回帰の結果、発進波は比較的安定しているが停止波の相関係数はやや低い。これは、車の到着分布のばらつきによるものと考えられる。

1-3. 走行モードの予測方法

(1) 信号停止率の予測----上流部交差点との関係から次のような方法に分けて考える。

1) 信号サイクルが同じ場合(系統化信号)

① 上流部交差点からの平均所要時間、交通量分布を設定する。

② 交通量分布は距離が長くない場合次交差点まで不変で伝達されるものとする。

③ 下流交差点の断面の通過予定時間によって、通過する車と停止する車に正分する。

④ ①～③を何サイクルかくり返し、平均的停止率を求める。

2) 信号サイクルが異なる場合

① 上流交差点とは無関係に全サイクル平均的に交通が流入するものとし、初期停止率は信号サイクルより(R/C)で与えられるとする。

② (R/C)及び1サイクル当り平均交通量から停止台数を求め、その後の状況をシミュレートし、一定の収束値が得られるまでくり返す。

(2) 予測値と実測値の比較----2通りの方法に従って、停止率の予測値と実測値の比較を行ない、ある程度の精度で推定できることがわかった。

(3) モード構成の予測----各モード構成を予測するに当たって停止車のモード構成が基礎となるため、ここではまず停止率によって求められた停止車について

その停止領域の構造と停止時間を考察し、それに基づいて各モード構成を予測する。

1) 停止領域の基本構造と平均停止時間; 停止領域は、赤現示時間、停止波、発進波、停止行列長から図-1のように構成される。平均停止時間については、その算定手順は次のようになる。

- ① 赤現示帯(R)を設定する。
- ② 平均停止行列長(l)より発進波を描く。
- ③ 停止率予測より求められた停止台数から行列長(l)を求め、停止波を描く。
- ④ 停止領域の面積(S)を求め、これを平均停止行列長で割ることにより平均停止時間(t_s)が求められる。

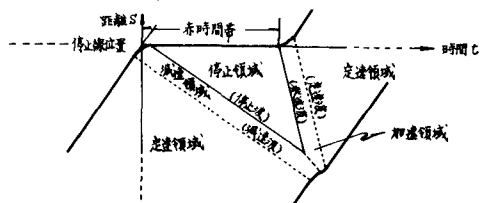


図-1. S-モータグラム上に描いた信号停止モデル

2) その他のモード平均時間; 停止以外のモードについては、減速加速は停止の前後に一定のパターンで発生するものとし、定速も一定速度で走行するものと仮定することによって求められる。ここでは、試験走行の記録を参考としてモデル値を求めることにした。

3) 各走行モードの予測; 青現示での通過と信号交差点以外の走行は定速モードであるとの仮定に基づいて、各モード構成予測の手順を示す。

① 交通量(N)と信号停止率(P)より、停止台数(PN)、通過台数((1-P)N)を求める。

② 停止車については、一定区間(l)における各モードの時間平均値(t_c, t_d, t_i, t_a)を代表させる。

$$\begin{aligned} \{\text{定速}\}; t_c &= (PN)t_c' & \{\text{停止}\}; t_i &= (PN)t_i' \\ \{\text{減速}\}; t_d &= (PN)t_d' & \{\text{加速}\}; t_a &= (PN)t_a' \end{aligned}$$

通過車については、定速モードのみを考える。

$$\{\text{定速}\}; t_{c2} = \{(1-P) \cdot N\} t_c''$$

以上より全体の各モード構成比は次の様に求められる。

$$\begin{aligned} \{\text{定速モード}\} & (t_{c1} + t_{c2}) / T & \{\text{停止モード}\} & t_i / T \\ \{\text{減速モード}\} & t_d / T & \{\text{加速モード}\} & t_a / T \end{aligned}$$

$$\text{ただし、} T = (t_{c1} + t_{c2}) + t_d + t_i + t_a$$

③ 一般に、単路部では(車の出入)、(駐停車)、(発進)、(歩行者の横断)等、交差点部では(バスの発着)、

(右左折車)、(歩行者・自転車の飛び出し)等の様に、沿道環境の影響を受けるため、これによる補正を行なう。

1-4. モデルの有用性

(1) 試験走行----調査区間をタコグラフを登載した車で試験走行し、各項目の観測を行なった。ただし、この試験走行は回数が限られているため、必ずしも種々の走行状態を適正に代表したものとは言えず、限られた条件での走行実績値といえる。

(2) 予測値と実測値の比較----調査区間について予測値と実測値の比較から、ある程度の精度で予測が可能であると考えられる。

2. 渋滞時交通流に対する予測方法

2-1. 基本的な考え方----渋滞時には定常流の場合と基本的に異った形態をとることは明らかで、それに対応した予測方法を考える必要がある。渋滞の程度が低い場合は自由走行時の4モード構成が見られるが徐々にその区別がなくなり、ついには2モード走行に至ると考えられる。以下には、特徴的な点を示す。

1) 渋滞時には停止率は100%となる。すなわち、停止せずに通過する車が存在しない状態を扱う。

2) 渋滞の程度が高くなると4つのモードが明確に区別されなくなり、むしろ「停止」と「ロクロ走行」の2つのモードとして捉えた方が妥当といえる状態に移行する。

3) 渋滞の程度によ、て、停止波、発進波の形態が徐々に変化する。

4) 停止モードの占める割合が高く、全体的に低速度交通流となる。

従って、渋滞時にあいてはその交通特性(渋滞特性)が重要な要因となるとともに、停止モード構成比を算出することが全体のモード構成の予測につながる。

2-2. 基礎調査

(1) 調査概要----図-2に示す区間で、特に渋滞時の交通特性を中心に、次

く長居交差点の項目について調査を実施した。それらの主な結果を示す。

1) 平均走行速度; 流出交通量及び信号待ち回数

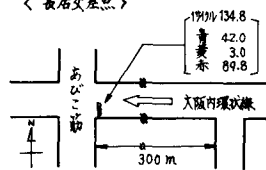


図-2. 調査地点概要

と密接な関係があり、それぞれ次のような回帰直線が得られた。

$$\begin{cases} \bar{v}_r = 9.08 + 1.07 & (R = 0.79) \\ \bar{v}_r = -1.30 N + 5.02 & (R = 0.95) \end{cases} \quad \dots\dots (1)$$

g: 流出交通量(台/秒/車線), N: 100m走行当り信号待ち回数(回/100m)

$\bar{v}_r$: 平均走行速度 (m/sec.)

2) 停止台数と行列長: 定常流の場合と同様にかなり明確な直線関係を示すが、渋滞時には車頭間隔が小さくなり、停止行列長もやや短くなる、としている。

$$L = 7.12 N_p - 0.81 \quad (R = 0.99) \quad \dots\dots (2)$$

L: 停止行列長 (m), N_p : 停止台数 (台)

3) 停止波と発進波: 定常流の場合よりは、3リとした線を示しており、停止波についてはその傾きが変化している。これは、渋滞時には低速で車間距離が短くなり、交通流の伝達が遅くなるために考えらる。

$$(\text{発進波曲線}) \quad d = 5.27 t_s - 0.05 \quad (R = 0.93) \quad \dots\dots (3)$$

$$(\text{停止波曲線}) \quad d = 4.63 t_p - 3.30 \quad (R = 0.93) \quad \dots\dots (4)$$

d: 停止線の距離 (m), t_s, t_p : 各々先頭車が発進又停止してから時間(秒)

4) 停止波と渋滞時交通特性: 3)の結果よりとくに停止波について、流出交通量及び信号待ち回数によってその変化を調べてみると、図-3の様にかなり強い関係を示しており、渋滞の程度によって信号停止モデルが変化することからわかる。

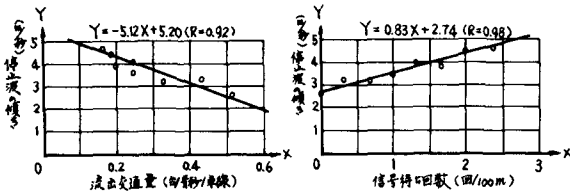


図-3. 停止波と渋滞時交通特性

2-3. 走行モード予測方法----渋滞時の信号停止モデルは、流出交通量や平均走行速度等の渋滞特性による停止波の傾きや走行モードの変化によって変形することからわかる。ここでは、「停止」と「ノロノロ走行」の2モード時のモデルを考えてみよう。

① 信号サイクル(特に赤時間帯)を設定する。

② 渋滞時走行特性を表す要因を設定する。(本稿では単位青時間当りの流出交通量を用いた。)

③ これに基づいて発進波、停止波を描き、これにより停止領域を設定する。

④ 停止領域の面積(S), 区間長(L)より平均停止時間($\bar{t}_s$)を求める。又、平均ノロノロ走行時間($\bar{t}_l$)は、 $\frac{\text{区間長}}{\text{平均走行速度}}$ によって求められる。

2-4. 予測計算例----ここでも定常流の場合と同様に、調査区間での予測値と試験車走行による実測値とを比較してみた。表-1は、停止モードについての結果を示したものである。これを見ると、流出交通量が比較的大きい場合、

表-1. 予測結果例(停止モード)

項目	予測値	実測値	誤差 (%)
単位青時間当りの流出交通量	0.29	61.8	46.8
単位青時間当りの流出交通量	0.23	74.0	68.5
単位青時間当りの流出交通量	0.18	78.7	79.8
単位青時間当りの流出交通量	0.12	79.3	83.2
単位青時間当りの流出交通量	0.07	82.8	84.1
単位青時間当りの流出交通量	0.01	84.5	87.2

すなわち渋滞の程度が小さい場合にはやや大きい誤差を示すが、渋滞がひどくなるとその誤差は数%の範囲に収まっていることがわかる。すなわち、前者の場合は渋滞域と自由走行域との境界付近いわゆる中間領域に含まれるために考えらる。又、この様な領域では実際には慣性走行の部分が多いと考えられ、その意味では予測値が高くなっているのは妥当な結果といえよう。

3. 問題点の検討

以下に、本予測方法に係わる問題点の検討をしてみよう。

(1) 渋滞時交通特性----前述の様に、渋滞時の交通特性を流出交通量で表わすことができれば、比較的簡単な調査で予測方法を適用することが可能となる。ここでは、流出交通量と平均走行速度、空間平均速度との関係を先ずみてみよう。尚、調査は空心町交差点において、ビデオカメラにより交差点付近及び上流側200mにわたって撮影した結果を分析したものである。

① 平均走行速度(停止時を除く)を1サイクル当り流出交通量との関係でみると前述の結果(式(1))と類似の傾向がみられた。(図-4参照)

② 空間平均速度は、上記200m区間の走行のみに注目すると1.0 m/s付近を境にプロットが2つのグループに分かれたが、これは信号待ち回数の相違によるものといえ、全体の傾向は渋滞の程度と明白な関係を示しているといえる。(図-5参照)又、空間平均速度ランク別の流出交通量を見ると、図-6のように明確な傾向がみられる。

③ 以上の結果から、渋滞領域が流出交通量・走行速度等の要因によって分割される可能性のあることがわかる。つまり、渋滞時を2つに分割することによっていわゆる4モードの渋滞領域(中間領域)と2モード

の渋滞領域の扱いが可能となると考えられる。

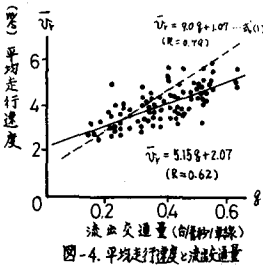


図-4. 平均歩行速度と流出交通量

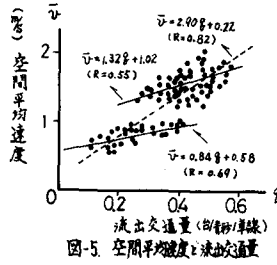


図-5. 平均歩行速度と流出交通量

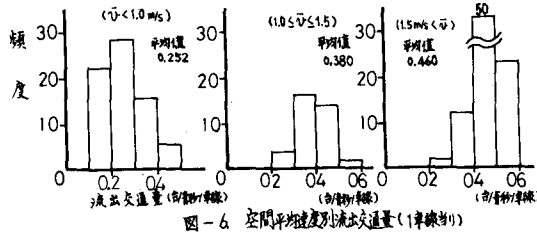


図-6. 平均歩行速度と流出交通量 (1車線当り)

(2) 交通量分布---大阪市内のあびこ筋における連続した4つの主要交差点の南行流出部における交通量分布の調査結果より、交通量分布及び本モデルの路線への拡張について考察してみたい。調査結果の一例として10秒毎の交通量分布を図-7に示す。

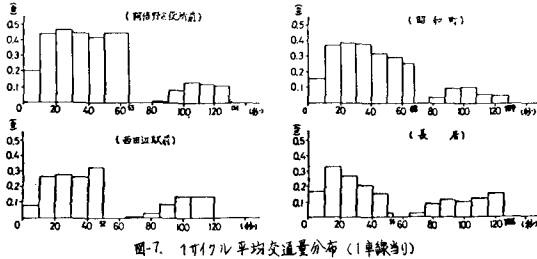


図-7. 10秒毎平均交通量分布 (1車線当り)

この調査から明らかになった点を以下に示す。

- 1) 青現示による直進交通量の分布は、発進遅れによって最初の10秒間は他の10秒間に比べ小さくなる。
- 2) その後はほぼ一定値を示すが、交通量が多いと青現示の終りにかけ込みによって山がでず、交通量が少ないと青現示の後半で流出量が減少することになる。これは流入交通量と青現示の長さで決まることになる。
- 3) 赤現示での交差道路からの右左折交通については、直進と同様に次のような時間分布を考慮できることがわかった。

- ① 左折の分布：ほぼ正規分布的な流入分布を示し、現示時間の中間当りでピークとなる。
- ② 右折の分布：右折用矢印のある場合時間とともに増加し、青矢印の現示により急増する。青矢印のない場

合は右折量が比較的少ないが、時間とともに増大するといえるが、早く途切れるケースが多いにめ多くのサイクルを平均化するとピークの後に低減するパターンが求められる。

③ 合計の分布：右左折を合わせると時間とともに増大し、その山が持続するパターンおよびその変形パターンがみられる。

これらの結果からモデルへの入力となる交通量分布について、(例えば交差点別、時間帯別等の)ある一定のパターン化を計るために次のデータが必要とされよう。

- i) 主、従道路の区間別交通量および時間変動
 - ii) 路線(主道路)及び交差(従)道路の構造及び右左折率
 - iii) 主要交差点の信号現示、系統化、速度、距離
- 従って、路線についてこれらの傾向を見出す(パターン化する)ことができれば、ある時刻の交通量が与えられれば各種のパターン化(例えば係数として与えられる)によって、各交差点での交通量分布が推定されることになる。これにより、本予測方法を線あるいは面へ拡張していく可能性がひらけることになる。

あとがき

- (1) 定常流(自由走行流)、渋滞時交通流に対して、本モデルによつて、走行モードはある程度の精度での予測が可能といえる。
- (2) 予測を行なうに当つては、信号現示(系統化等も含む)、交通量とその分布あるいは右左折交通量といったデータを準備する必要があるが、簡便な実用的方法とされている。
- (3) 本研究はまだ初步的段階といえるから、充分な精度を得るために各種のパターン化、モデル化に対し更にデータを補充することによつて、改良が期待される。
- (4) 線又は面への拡張に対しても、例えば交通管制等のデータを活用したシステム化も行なえるものと思われる。又、幹線道路に囲まれた面的地区の処理方法の開発などの問題は残されている。

参考文献

- 1) 海住、西村、日野「信号停止モデルによる自動車走行モードの予測試みについて」土木学会第34回年次学術講演会講演概要集、第4部門、1979
- 2) 日野、西村、津田「信号停止モデルによる渋滞時の走行モードの予測について」土木学会関西支部昭和55年度年次学術講演会講演概要集、1980