

土 木 研 究 所 資 料

第 1 1 7 8 号

渋滞現象シミュレーションの研究

昭和52年 7 月

土木研究所道路研究室

ま え が き

交通現象の解明のために、シミュレーションは、実測と並んで有効な手段である。実態をよく表現しているシミュレーションが可能ならば、そのパラメータを変化させることによって、任意の交通の状態を作り出すことができる。この任意の交通の状態を再現するという点では、実測に優る手段といえる。

現在都市部およびその周辺で問題となっている交通の渋滞現象の調査としては、目測（写真を使うこともある）によるもの、感知器データによるものがあるが、前者は、調査の範囲（時間、空間）に限度があり、後者は、交通現象との対応に問題がある。いずれにせよ、希望する状態を自由に選べない。そのため、渋滞現象を再現する交通シミュレーションの開発を試みた。

交通流のマクロ的な表現として一般的な流体モデルにおいては、渋滞中の区間は一定の状態を表わされるが、実測等の結果では、かなりの変動がみられるため、シミュレーションモデルの目的としては、渋滞域中での変動を再現することを中心とした。

担 当 者 道路研究室長 藤 田 大 二

元道路研究室 柴 田 正 雄

目 次

1. 交通現象シミュレーションモデル	1
2. シミュレーションの基本的な方針	2
3. シミュレーションモデルの論理	2
3.- 1 追従論理	2
3.- 2 料金所における扱い	6
3.- 3 信号交差点における扱い	6
3.- 4 車の発生	7
3.- 5 車の仕様の決定	7
3.- 6 感知器データの収集	7
4. 計算の手順	8
5. 入力データ	10
6. 出力データ	12
7. 車両の仕様と状態表示のための変数	14
8. 感知器データ計算用の変数	15
9. デイメンジョンと添字の関係	16
10. 演算結果	17
11. 今後の課題	25
参 考 資 料	

1. 交通現象シミュレーションモデル

交通現象のシミュレーションモデルとしては、大別して、車両一台一台を単位にしたものと、状態の似た区間ないし車群を一つの単位としたものがある。前者は細密なシミュレーションに、後者は粗く広範囲のシミュレーションに使われる。本研究で対象としているような細部の変動を扱う場合には一台一台を単位とするモデルが必要である。車両一台一台を単位としたシミュレーションモデルとしては、目的に応じて多くのものが特に米国で発表されている⁽¹⁾。我国においても、最近のものとしていくつかの例がある。⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾ 車両一台一台を単位としたモデルの場合、最も中心となるのは、一台一台の車の動きをいかに決定するかという点で、その方法としては大別して二つある。一つは車両の加速度を決定し、速度、位置を決定していくもので、一つは車両の進行距離を直接決定してしまうものである。前者の方法の基本式としては、GMの追従式⁽⁵⁾が一般的に使われる。後者の場合には、安全車間距離を設定してその分だけ進行するという形が多い。計算は後者の方が簡単であるが、精密さでは前者の方が優れている。本研究におけるモデルは、前者の方式をとった。

○参考文献

- (1) FREEWAY DIGITAL SIMULATION MODELS
Y.S.Hsu and P.K.Munjal HRR 509.
- (2) 立体交差道路の交通処理に関する研究報告書
昭和47年3月 日本自動車工業会交通対策委員会
- (3) 街路交通のシミュレーション
池之上、斉藤、花堂、交通工学 Vol 9. No 1.
- (4) シミュレーションによる系統制御と地点感應制御の効果の比較
久井、交通工学 Vol 10. No 1.
- (5) NON-LINEAR FOLLOW-THE-LEADER MODELS OF TRAFFIC FLOW, D.Gazis,
R. Herman and R. Rothery Operations Research Vol 9. No 4.

2. シミュレーションの基本的な方針

- 1) 渋滞時を対象とするため、一車線のみのモデルとし、追越しを考えない。また、途中での流入、流出を考えない。この限定による簡略化の分を、一台一台の車の動きの再現の精密化に向ける。
- 2) 計算の進行は、微小時間ごとのスキャンとし、一台ごとに、加速度、速度、位置を計算する。
- 3) 車両および運転者の特性はバラツキのあるものとする。
- 4) 区間の終点に、渋滞の発生源として、信号交差点（街路用）、または、料金所（高速道路用）を設定する。
- 5) 感知器データと交通現象の対応を調べるため、感知器を任意の場所に設定できるようにしておき、一般的な交通現象のデータとともに、感知器データもとることができるようにしておく。

3. シミュレーションモデルの論理

3.1 追従論理

追従の論理として多くのシミュレーションモデルに使用されているものに、GMモデルがある。これは、以下の式で表わされる。

$$\ddot{x}(t+T) = \alpha_0 \frac{\dot{x}_f(t) - \dot{x}(t)}{\left\{ \frac{x_f(t) - x(t)}{\ell} \right\}^\ell} \left\{ \dot{x}(t+T) \right\}^m$$

ここで $x, \dot{x}, \ddot{x}$: 後車の位置、速度、加速度

$x_f, \dot{x}_f$: 前車の位置、速度

T : 反応遅れ時間

α_0 : 反応の強さの係数

ℓ, m : 一般形とするためのパラメータ

上記、一般式の内、 $m=0, \ell=1$ としたものが多くのシミュレーションに使われている。

本シミュレーションでも当初はこのモデルの使用を検討したが、机上の検討と、2台の車による追従シミュレーションの結果、問題のあることが認められた。

運転者は、自分の車の速度を前の車の速度に合わせようとすると同時に、両車の間隔を速度に見合った値に調整している。GMモデルは、速度の調整に対応する項だけで成り立っており、間隔の調整に関連する項はない。間隔は、反応の強さを左右するだけのものである。よって、前車が一定速度で走っているとして、後車を異なった速度を初期条件として追従させると、定常状態、すなわ

ち、両車が同じ速度になった時の両車の間隔は、両車の初期の間隔と速度差によって変化する。初期条件として両車が同一速度とすれば、間隔は変化しない。この結果は常識と異なる。

速度と間隔の両者の調整を組み入れたものとして、一般の物理現象の一つとして、減衰振動モデルがある。減衰振動モデルの標準形は以下のようである。

$$m\ddot{x} + \lambda\dot{x} + kx = 0 \quad \text{または} \quad \ddot{x} + 2b\dot{x} + w^2x = 0$$

この式を解くと、 $b^2 - w^2 > 0$ の時は過減衰となり、 x は初期値より徐々に 0 に向かう。

$b^2 - w^2 < 0$ の時は減衰振動となり、 x は 0 の上下を前後しながら徐々に 0 に向う。

この式に、前車の速度と適当な車間距離を組み込むと以下の式ができる。

$$\ddot{x} = d(\dot{x}_f - \dot{x}) + k(x_f - c - x)$$

ここで、 c : 適当な車間距離で $\dot{x}$ の関数

この式で、後車の速度は前車の速度に、両車の間隔は適当な間隔に収れんするが、このままでは、反応の感度係数は、両車が近くても遠くても一定である。実際には、車間距離が近いほど反応が強いと思われる。また、運転者の反応には時間遅れが考えられる。これらを考慮すると以下のようなモデルが考えられる。

$$m\ddot{x}(t+T) = \left\{ d(\dot{x}_f(t) - \dot{x}(t)) + k(x_f(t) - c - x(t)) \right\} \frac{c}{x_f(t) - x(t)}$$

これは、反応の強さは、適当車間距離とその時の車間距離の比に比例するとしたものである。GMモデルのように、 ℓ や m のパラメータを使ってより広範囲の式を考えることもできるが、それらの拡張は、今後の問題として残した。この式の右辺の第一項は、

$$d \cdot \frac{x(t) - x(t)}{x_f(t) - x(t)} \cdot c$$

であり、GMモデルの $\ell = 1$ としたものに近い。

もし、 c を $c = c_0 \left\{ \dot{x}(t+T) \right\}^m$ とすれば、同じものになる。よってこの式は、GMモデルに適当車間距離に収れんさせるための項を加えたものとも考えられる。

d および k は反応の強さを定める係数であり、元の減衰振動よりのアナロジイからして、以下、それぞれダンピング定数、バネ定数とよぶ。これらの値としては、本来は実験で求めるべきであろうが、この式に基づいた実験はまだ行っていないので、適当な数値を用いて、3車による予備シミュレーションを行なって妥当と思われる範囲を探した。予備計算の結果、 $d = 0.7 \text{ 1/sec}$, $k = 0.1 \text{ 1/sec}^2$ 程度の値が、車の停止位置、衝突の可能性、速度のふれ等の点から妥当と思われたので、この前後の値を使用した。

反応遅れ時間 T は、実験により、0.8 秒という値が示されている。これには、心理的な反応遅れとペダルの踏み込み等の機械的な反応遅れがあり、シミュレーションでは、両車を区別し、加減速の符号が変わる時は両者の和、符号が変わらない時は心理的な反応遅れのみをとった。

c の関数形は、実測図-1 からして、線形でよいと思われたので、

$c = a\dot{x} + b$ の形とした。実測の結果からみてもかなりのバラツキがあるので、 a 、 b の値には、個人差を大きくする必要があろう。図-1 では、 $\Delta \ell = 1.5x + 3.0 \text{ (m)}$ となっているが、この $\Delta \ell$

は追従の結果で、 c とは少し意味が異なるので、注意する必要がある。

車両の間隔が大きくなると前車の影響は弱くなり、最終的には、前車とは関係なく単独走行になると思われるので、前車との間隔によって、追従式による場合、希望速度に対しての加速、両者の中間段階の3つのケースを作った。

(1) 交通工学入門 堀克郎

車間間隔が、 $s \cdot c$ (s は、6程度の定数) 以上の場合、もしくは、先頭車の場合には以下の式を使用する。

$$\ddot{x}(t+T) = d \times (V_d - \dot{x}(t)) / s$$

V_d : 希望速度

車間間隔が、 $2 \cdot c$ と $s \cdot c$ の間の時は、両者の比例配分した平均値を使用する。

d 、 k の値が小さいと前車が停止して後車の速度が小さくなると $\ddot{x}$ が小さくなり、停止までに時間がかかる。また、 d 、 k の値が大きいと、同じような条件の時に、 $\ddot{x}$ が正負に振動する。これらの現象は実状にあわないので、速度が小さくなった時には、ある一定の減速度を与えることとした。

また、車両は後退しないので、 $\ddot{x}$ は常に0以上とする。タイヤのすべり摩さつの関係上、加速度の大きさには限度があり、また、車の動力の関係上も加速度の大きさには限度がある。車の動力は、単位重量あたりの馬力を与え、それと速度との関係で、加速度の限界を決定する。

ΔL_{12}
車
間
距
離

m

首都高速7号線における
速度と車間距離の関係

49. 10. 29 撮影

大島団地より上り走行車
線スリットカメラによる

○ : 各速度域ごとの平均値

20

10

3

$$\Delta L_{12} = 1.5 V_2 + 3.0$$

10 m/sec 後車速度 V_2

3. 2 料金所における扱い

1) 料金所手前の車線わかれ

首都高速道路では、一般的に単路一車線に対し、料金所は2ブースある。料金所の容量は1ブースあたり約600台/時といわれており、容量的なつりあいからしても、シミュレーションでも、単路部一車線につき2ブースを与える方がよいと思われる。しかし、2ブースについてシミュレーションを行なうのはプログラムが複雑になるので、1ブース分は単純に途中で消滅させることとした。料金所の100m程度手前に到着した車両をポアソン分布を使ってランダムに消滅させ、半分が料金所に到達するようにしている。

2) 料金所直前での追従

料金所と当該車の間に他の車の後尾があれば、通常の追従となる。他の車が間にいない場合、すなわち、その車が先頭車の場合には、料金所を前車とみなす。この場合、速度は0m/sec、適当車間距離も0mとする。ただし、料金所に近接して、なおかつ、サービス時間(指数分布)と速度の積が、0.5mより小さくなった時以後は速度一定とする。これは料金所において料金を支払うためには、料金徴収員の手の届く範囲であるサービス時間が確保できれば、料金の支払いは行えるからである。

3) 料金所よりの加速

料金所で、サービス時間の間、一定の速度を保った後、加速する。この場合、前車はないので希望速度に向って加速する。車の後尾が料金所を通過した時点で、計算の対象からはずされる。

3. 3 信号交差点における扱い

1) 信号表示

緑、黄、赤の表示をくり返す。右左折は考えない。

2) 緑信号時における扱い

通常の追従を行なう。

3) 黄信号にかかった直後の扱い

信号位置(停止位置)までに、 -0.2 G 以内の減速度で停止できない時、もしくは、その時の速度で進行した場合に赤信号にかわるまでに信号位置を後尾が通過できる車両は通常の追従を行なう。前の方からチェックして行って、この条件を満たさない最初の車は信号位置を速度0の前車とみなして停止の動作に入る。その後の車は通常の追従を行なう。

4) 黄信号、赤信号時の扱い

黄信号に変わった直後に信号で停止するときめられた車両はそのまま停止の過程を続行し、その他の車は通常の追従を行なう。

5) 信号通過後の扱い

通常の追従とする。先頭車は希望速度に向って加速する。ただし、100m進行した後はその

時点での加速度を保持するものとし、次の車が100m進行した後は消滅する。

3.4 車の発生

車頭時間の分布は、移動指数分布とする。つまり、確率密度は以下の式による。ここで t は車頭時間

$$\varphi = \begin{cases} 0 & (t < \alpha) \\ m e^{-\frac{t-\alpha}{m}} & (t \geq \alpha) \end{cases}$$

この分布では、車頭時間の平均値は $m + \alpha$ である。 α は最少車頭時間であり、一般的に1秒程度が実際の分布との合致がよいので1.0秒を使った。

車種は、大型車、乗用車、小型貨物車、軽自動車の4つとし、与えられた比率に従って確率的に与える。

3.5 車の仕様の決定

車長、希望速度、単位重量あたりの馬力、ダンピング定数、心理的反応時間、最少適当車間間隔は、車種別、または、全体的に分布を与えておき、車の発生時に確率的に求める。分布形は正規分布とするが、 2σ の外側は用いない。

走行抵抗係数は一定の値とする。他の仕様、すなわち、バネ常数、車間間隔係数、機械的反応遅れ時間は前出の各仕様に比例した値を用いる。

3.6 感知器データの収集

区間の任意の位置に感知器を設定できるようにした。感知器位置を車両が通過するごとに、感知領域に入った時刻と出た時刻を調べて、集計時間ごとに通過台数とオキュパンスーを集計する。この際、感知領域内に存在した時間そのものでなく、一たんスキニングして、スキニング時間を単位とした時間を計測する。これは、実際に交通情報システムで行なわれている方法にあわせたものである。

感知器としては、ループ式と超音波式を考え、両者の間には、データ収集方法にやや違いがある。

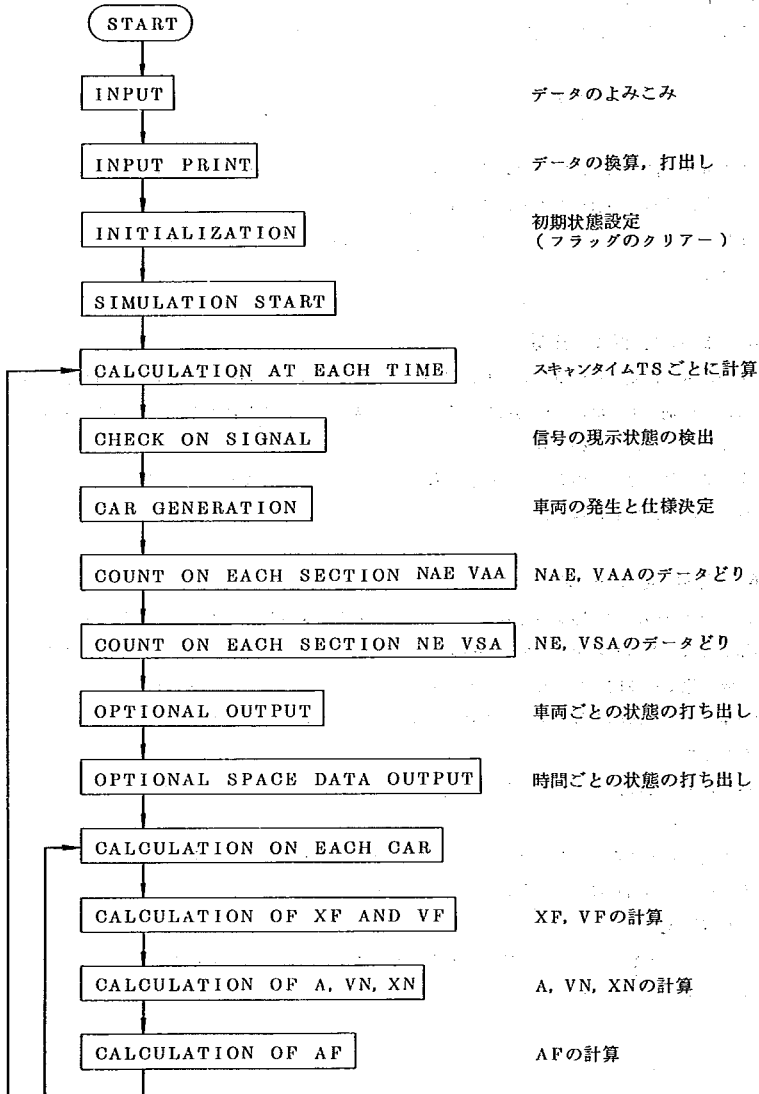
1) ループ式

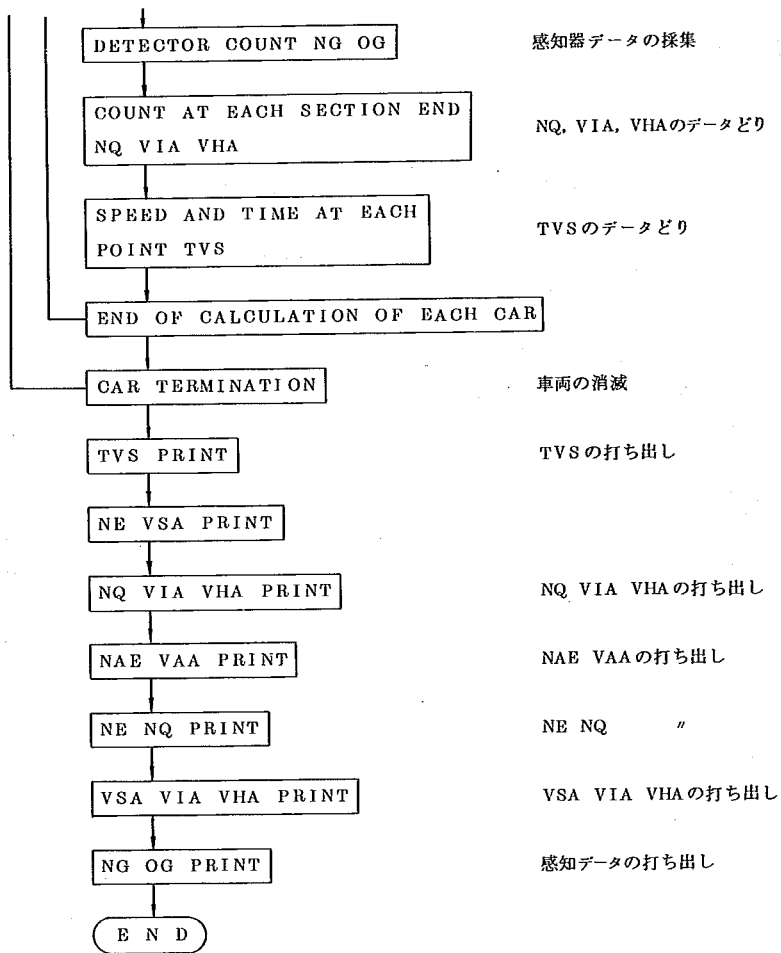
大型車と小型貨物車の場合には、車長を10%減らしてデータをとる。これは、ループが荷台の後部を感知し難いことを考えたためである。

2) 超音波式

感知器自体もスキニングでデータをとる。また、保持時間があるのでその分だけ存在時間をのばす。

4. 計算の手順





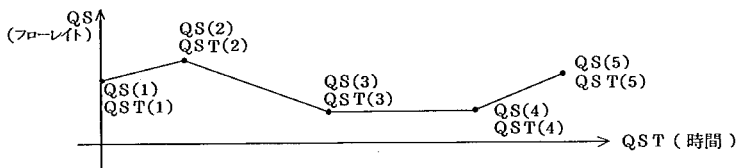
注：INPUT～NG OG PRINTのタイトルは
FORTRANプログラムリスト上のタイトル

5. 入力データ

TS	: スキャンタイム	(秒)
TE	: シミュレーション終了時刻	(秒)
IR	: 乱数発生用の初期値(これを変えると発生する乱数が変わる)	
IU	: "	
QS	: フローレイト(一定でなく変化させられる。最大8段階)	(台/時)
QST	: QSに対応する時刻(最大8データ)	(秒)
RL	: シミュレーション対象区間長	(m)
DRL	: NE, NQ等のデータ用の小区間長	(m)
TAS	: NE, NQ等のデータ用の集計時間	(秒)
CTM	: 料金所の平均サービス時間	(秒)
CXM	: 料金所前の車線増の区間長	(m)
RTI	: 信号の赤時間	(秒)
YTI	: 信号の黄時間	(秒)
GTI	: 信号の緑時間	(秒)
FR	: 希望速度の線形による影響係数(最大8データ)	(1)
FXR	: FRに対応する距離(最大8データ)	(m)
AIR	: 勾配(最大8データ)	($\%$ → m/m^2)
AIXR	: AIRに対応する距離(最大8データ)	(m)
RTC	: 車種構成(4データ)	($\%$ →1)
VLA	: 平均車長(4データ)	(m)
VLS	: 車長の標準偏差(4データ)	(m)
VDA	: 希望速度の平均(4データ)	($km/時 \rightarrow m/秒$)
VDS	: 希望速度の標準偏差(4データ)	($km/時 \rightarrow m/秒$)
PNA	: 単位重量あたり馬力の平均(4データ)	($ps/t \rightarrow m^2/秒^3$)
PNS	: 単位重量あたり馬力の標準偏差(4データ)	($ps/t \rightarrow m^2/秒^3$)
FDA	: ダンピング定数の平均(4データ)	(1/秒)
FDS	: ダンピング定数の標準偏差(4データ)	(1/秒)
TLA	: 心理的反応時間の平均	(秒)
TLS	: 心理的反応時間の標準偏差	(秒)
CMA	: 最少適当車間距離の平均	(m)
GMS	: 最少適当車間距離の標準偏差	(m)
CS	: 追従限界距離係数	(1)

FKF	: バネ定数とダンピング定数の2乗の比	(1)
TMF	: 機械的反応時間と心理的反応時間の比	(1)
CLF	: 適当車間速度係数と最少適当車間距離の比	$(1/(km/時) \rightarrow 1/(m/秒))$
DRA	: 走行低抗定数	$(g \rightarrow m/秒^2)$
DRB	: 走行低抗速度係数	$(g/(km/時)^2 \rightarrow 1/m)$
XG	: 感知器の位置 (最大K2データ, $K2 < 16$)	(m)
SG	: 感知器のスキャン間隔 (最大K2データ)	(ms $\rightarrow$ 秒)
DG	: 感知器の感知領域 (最大K2データ)	(m)
HG	: 感知器の保持時間 (最大K2データ)	(ms $\rightarrow$ 秒)
TGM	: 感知器データの集計時間	(秒)
SGM	: 感知器データ収集のスキャンタイム	(ms $\rightarrow$ 秒)
IOP	: オプショナルデータをとる車の番号 (最大4車)	
DTOP	: オプショナルデータをとる時間間隔	(秒)
SOPS	: オプショナル空間データのとり始め時刻	(秒)
SOPE	: " のとり終り "	(秒)
SOPD	: " をとる時間間隔	(秒)
XTV	: オプショナル地点データをとる地点位置 (最大K8地点, $K8 \leq 5$)	(m)

注1 : QSは以下のように指示する。(FR, AIRも同様)



注2 : ディメンジョンの大きさを定めるパラメータとの関係

$$RL/DRL < K4, TE/TAS < K5, TE/TGM < K6$$

$$(TLA + 2 * TLS) * (1 + TMF) / TS < K3$$

区間内に存在できる車の最大数はK1

地点データは, K7車で打ち切られる

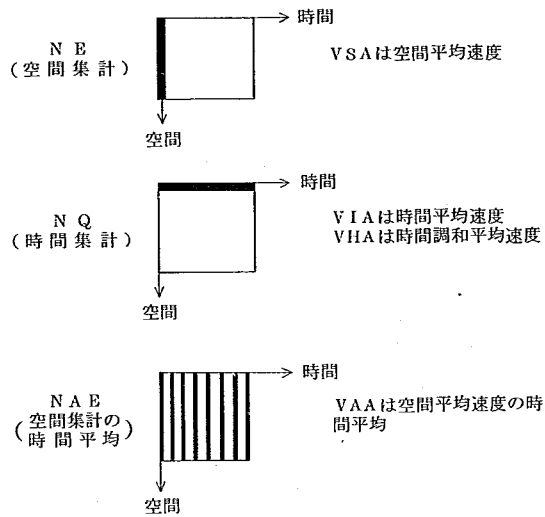
6. 出力データ

- オブショナルデータ, OPT (最大4車)
指定された車の位置, 速度, 加速度
- オブショナル空間データ
区間に存在する全車両の位置, 車間間隔, 速度, 加速度, および車両の仕様
- オブショナル地点データ, TVS (最大K8地点, $K8 \leq 5$)
指定された地点を通過する車両の通過時刻, 車頭時間, 速度, 車種
- NE, VSA (最大(K4-1)区間, (K5-1)時刻)
小区間に存在する全車, 大型車の台数, 平均速度 (km/h)
- NQ, VIA, VHA (最大K4地点, (K5-1)集計時間)
小区間端を指定集計時間内に通過した全車, 大型車の台数, 単純平均および調和平均速度 (km/h)
- NAE, VAA (最大(K4-1)区間, (K5-1)集計時間)
小区間に存在する全車, 大型車の台数, 平均速度 (km/h)
NE, VSAは瞬時データだが, NAE, VAAは, 集計時間内の10瞬時データの平均
- NG, OG (最大K2個, K6集計時間)
感知器の台数, オキュパンシデータ (%)

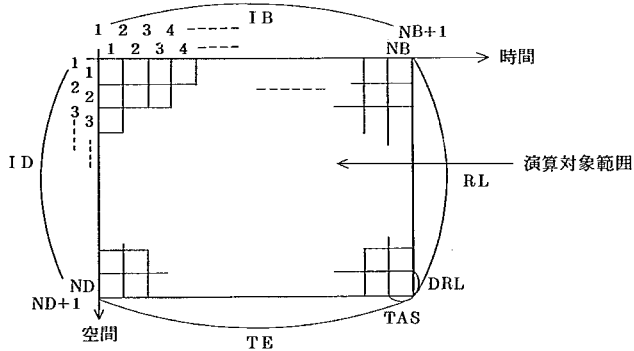
注1 : NE, NQ等は組合せを換えて重複して出力する。

注2 : オブショナルデータとオブショナル空間データは計算中に出力するので同時には出力させない方がよい。時間をずらすか片方のみとする。他の出力データは計算中に蓄えておき, 計算終了後に出力する。

注3 : NE, NQ, NAEの考え方は以下の通りである。



ID, IB, ND, NBの示す時間, 空間は以下の通りである。



7. 車両の仕様と状態表示のための変数 (最後にQのついたものは記憶用ディメンジョン)

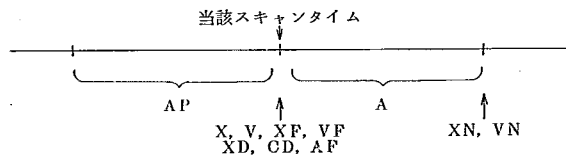
○ 仕様のための変数

FD, FDQ: ダンピング常数
 FK : バネ常数
 CM, CMQ: 最少適当車間距離
 CL : 適当車間距離の速度に関する係数
 PN, PNQ: 単位重量あたりの馬力
 TL, TLQ: 心理的反応時間
 TM : 機械的反応時間
 IA, MTQ: 車種
 VD, VDQ: 希望速度
 VL, VLQ: 車長

○ 状態表示のための変数

AP, APQ: 前のスキャンタイムからそのスキャンタイムまでの加速度
 X, XQ : 位置
 V, VQ : 速度
 A : そのスキャンタイムから次のスキャンタイムまでの加速度
 VN : 次のスキャンタイムの速度
 XN : 次のスキャンタイムの位置
 XF : 前車の後尾の位置
 VF : 前車の速度
 XD : 前車との車間間隔
 CD : 適当車間間隔
 AF, AQ : 反応遅れによる修正前の加速度

注1 : 状態表示と時間との関係は以下の通りである。



注2 : 上記の各変数の単位は, m, 秒を使用したものである。

注3 : 車の番号としてはIを使うが, これは固定ではなく, 先車の車が区間より出て消滅する時, 一つずつずらす。それに対応してIPS, IPE, ISIG, IOP, IEXも一つへらす。発生した順の番号とのずれを修正するために, IDIF, IPDで差を記憶しておく。最終出力中で示されている車両番号は, 発生順の番号である。

8. 感知器データ計算用の変数

JP : 感知器の数 (JP = 0 ならば感知器設定せず)

XGA : 感知器の感知範囲の上流の端の位置

XGB : " 下流 "

J : 感知器の番号

TGS : 感知開始時刻 (パルス立上り時刻)

TGE : 感知終了時刻 (パルス立下り時刻)

IDS : TGS のスキャン後の値 (何スキャン目か)

IDB : TGE " "

JDS : IDS の属する集計時間番号

JDE : IDB " "

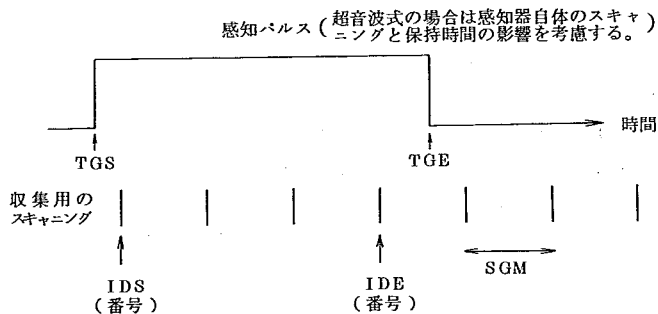
IPS : 感知開始を調べるべき車両の番号

IPB : 感知終了 " \

IGS : IDS の記憶用ディメンジョン

IGE : IDB " "

JGS : JDS " "



9. ディメンジョンと添字の関係

- Iで添字とするもの (Iは車番号, Iの最大値はIP)
APQ, CMQ, FDQ, MTQ, PNQ, TLQ, VQ, VDQ, VLQ, XQ
- Jを添字とするもの (Jは感知器番号, JGを使うこともある, Jの最大値はJP)
DG, HG, IPS, IPE, IGS, IGE, JGS, SG, XG
- IAを添字とするもの (IAは車種, JAを使うこともある。)
FDA, FDS, PNA, PNS, VLA, VLS, VDA, VDS, RTC
- IDを添字とするもの (IDは小区間番号, 最大値はNP+1)
AEI, AEA, NQA, NEA, NAEA, VSAA, VIAA, VHAA, VAAA
- IVを添字とするもの (IVはオプションル地点 データ用の地点の番号)
DTVS, IVS, IDIF, XTV
- JAを添字とするもの
AIR, AIXR
- JDを添字とするもの
FR, FXR
- JEを添字とするもの (IEを使うこともある)
QS, QST
- IOを添字とするもの (IOはオプションルデータ用の車両の番号)
IOP, OPT (IOの算術式またはJOを使用する)
- I, ILを添字とするもの (ILは, 遅れ時間の整数化された値)
AQ
- ID, IBを添字とするもの (IBは集計時間番号, 最大値はNB+1)
VSA, VIA, VHA, VAA (ID, IBの2元)
NE, NQ, NAE (ID, IBおよび1または2の3元)
- J, JBを添字とするもの (JBの代りにJD, JDS, JDEも使う)
NG, OG
- IV, ICを添字とするもの (ICの代りにIVSAも使う)
TVS (IV, ICおよび1または2の3元)

10. 演 算 結 果

演算の結果を末尾に示す。また、結果を図-1～7に示す。

- 図-1 高速道路上のシミュレーションの結果からとった。車両の到達時刻と速度である。渋滞の中でも速度が変化している様子がでている。
- 図-2 交差点の手前での停止と発進の様子を時間-距離図にあらわしたものの。
- 図-3 街路での感知器のデータをプロットしたもの。オキュパンシが、20%程度まで直線状に分布し、その後は横に曲りばらつく様子がでている。
- 図-4 高速道路における地点の交通量と時間平均速度をプロットしたもの。自由走行側と渋滞側の群と過渡状態が表されている。
- 図-5 高速道路の感知器データをプロットしたもの。図-4に対応するもの。
- 図-6 街路における地点の交通量と時間平均速度をプロットしたもの。図-4と似ている。
- 図-7 高速道路における空間データの時間平均をプロットしたもの。速度と密度の関係図であるが、実測ではこのように空間と時間の両方の平均をとるのは大変である。

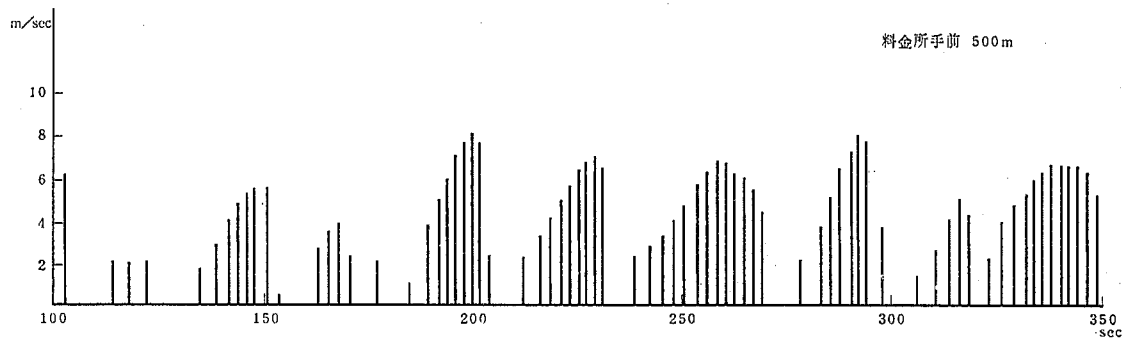
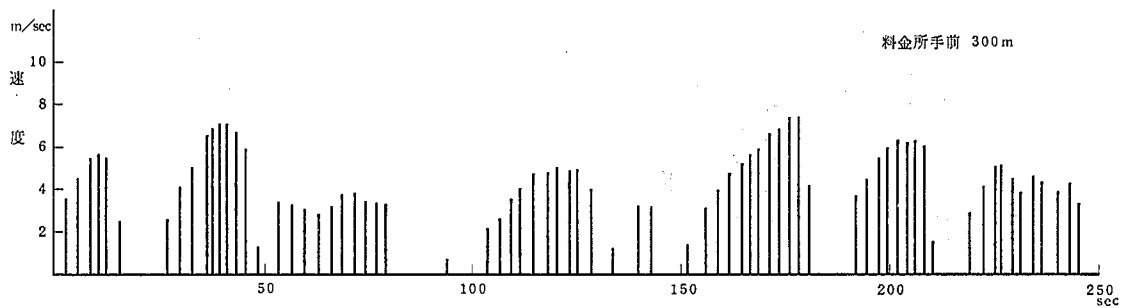


図-1 速度一時間図(波濤時)

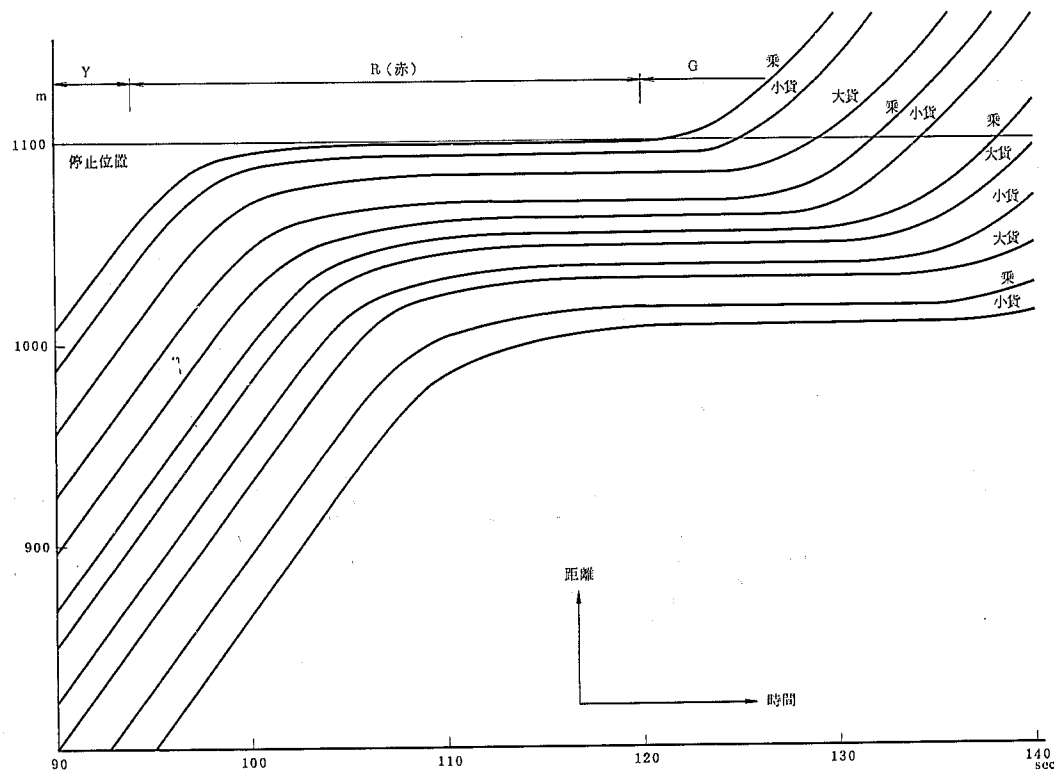


図-2 交差点手前における車の動き

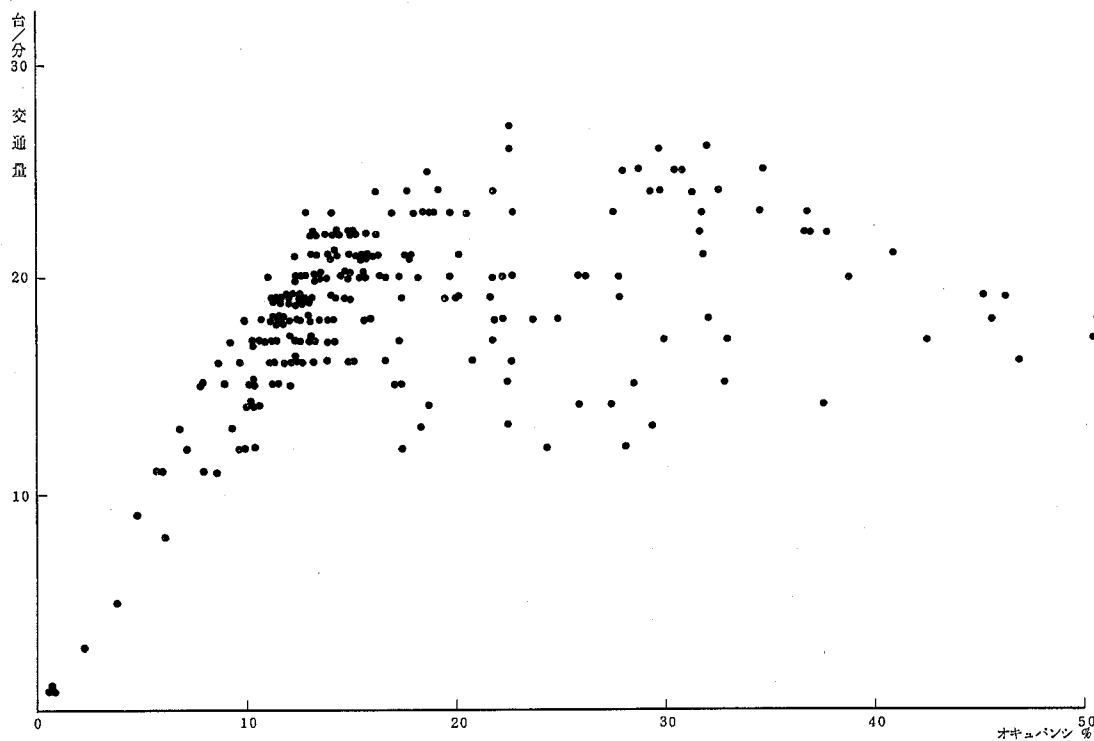


図-3 交通量とオキュパンシの関係(街路, 1分間データ)

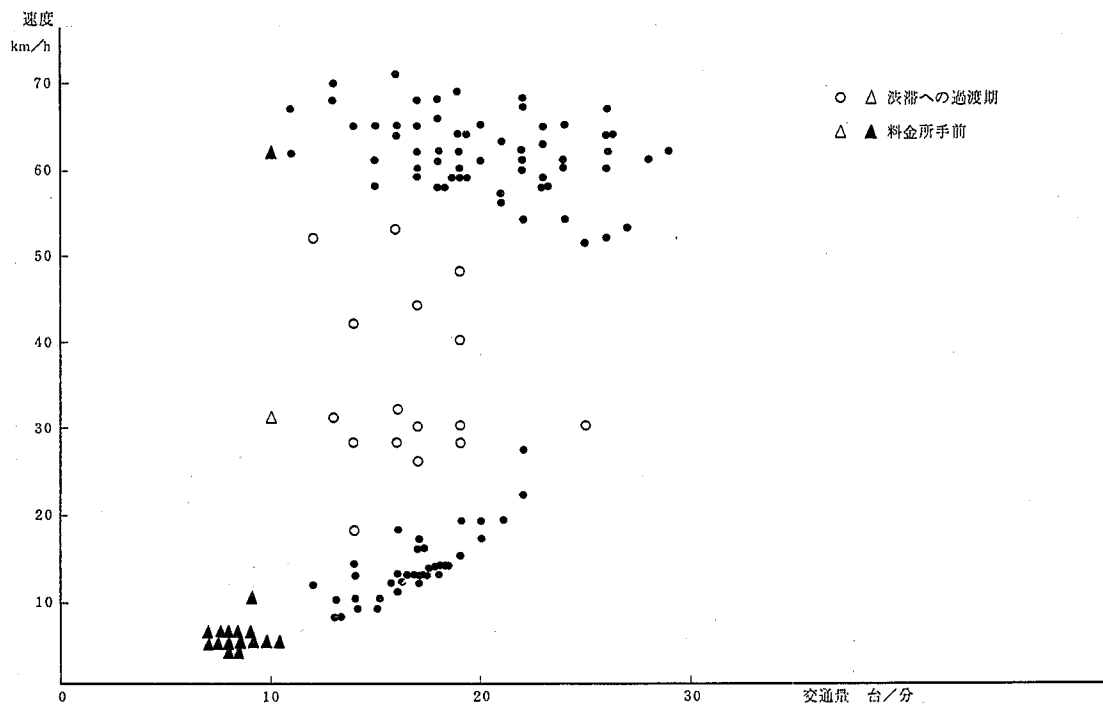


図-4 地点交通量と時間平均速度(都市高速道路1分間データ)

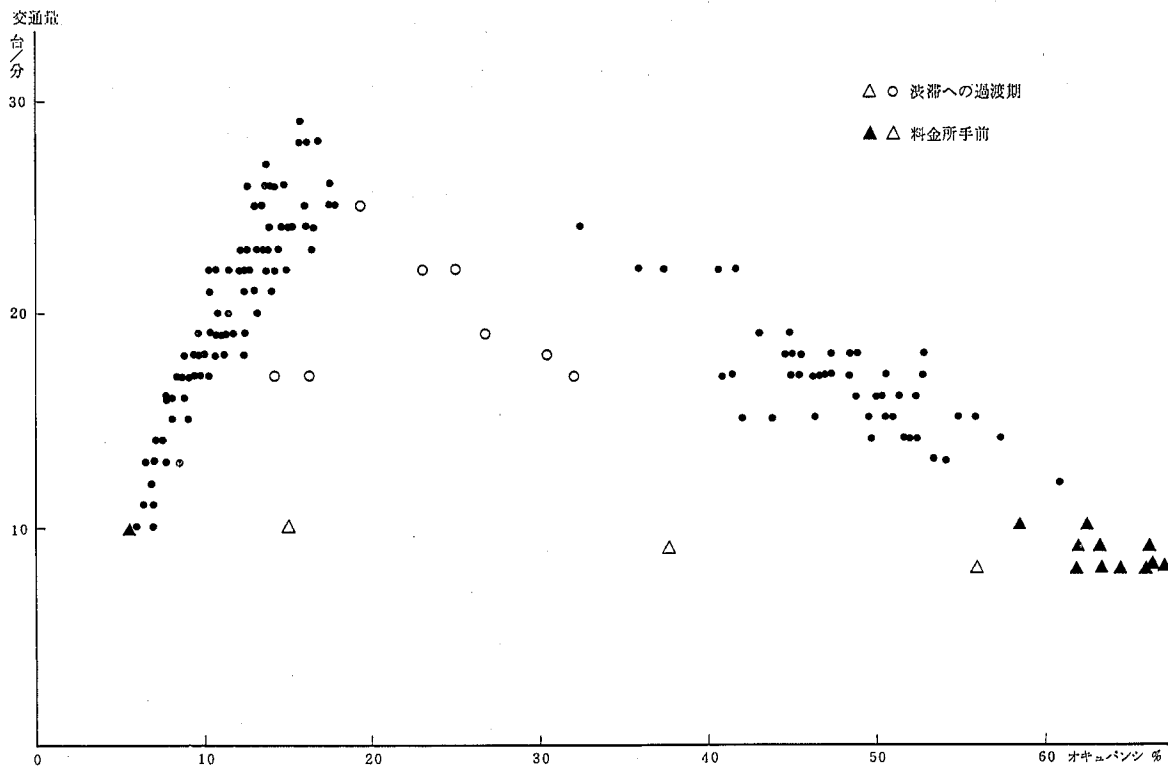


図- 5 シミュレーションによる1分間感知器データ(首都高速道路)

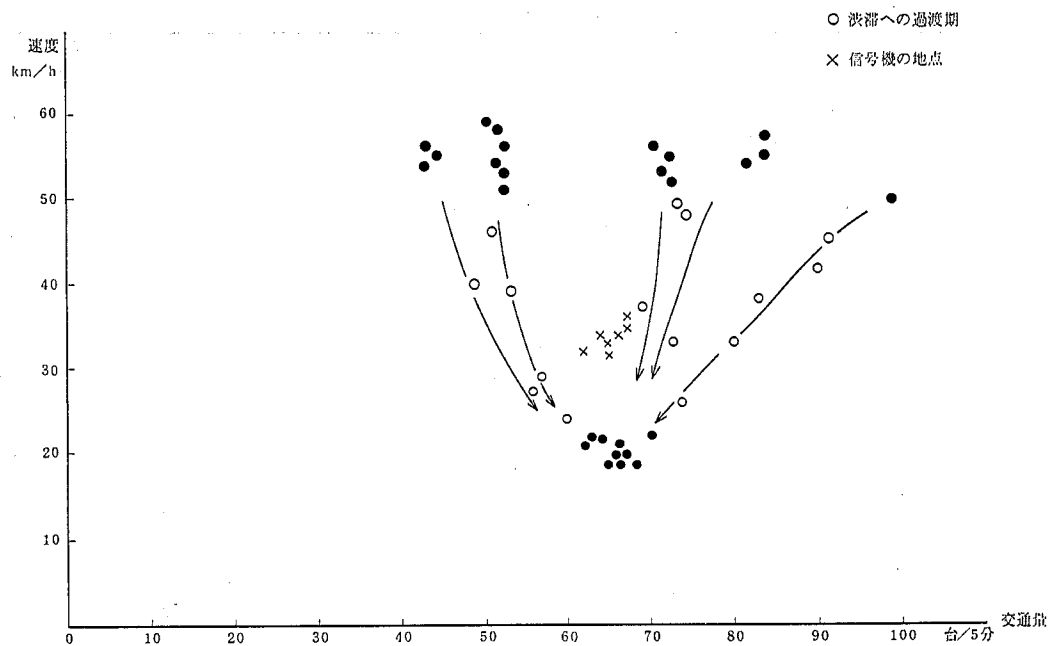


図-6 地点の交通量と時間平均速度(街路5分間データ)

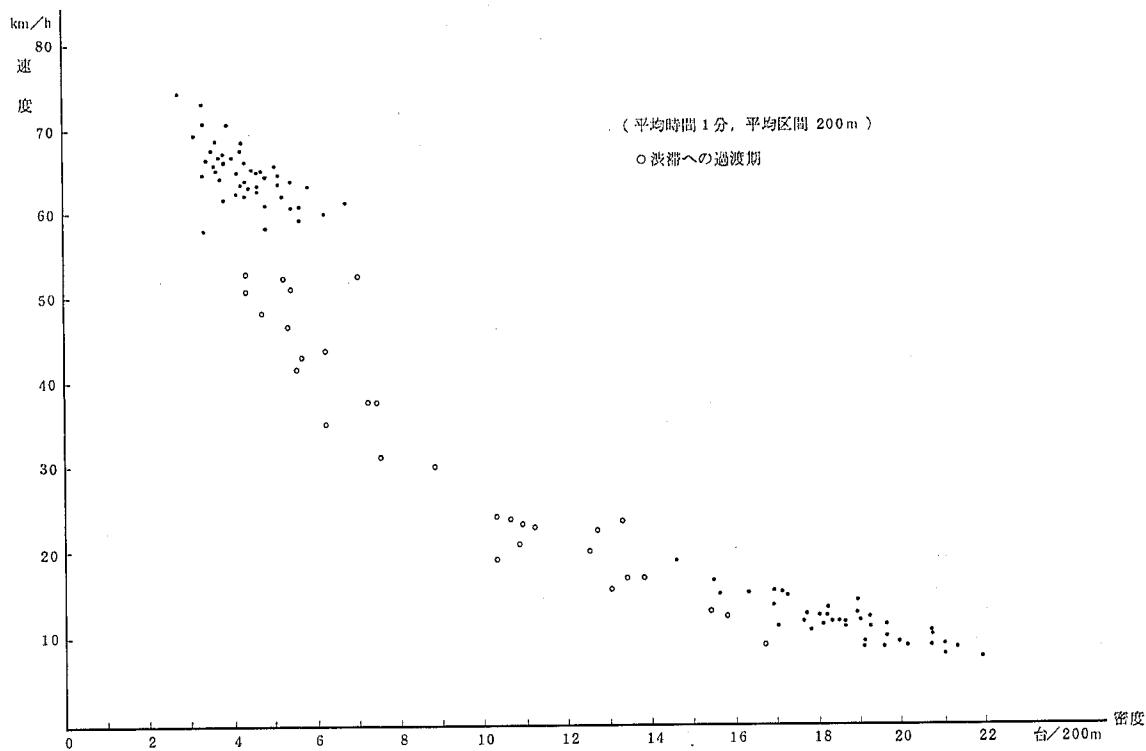


図-7 時間空間平均K-V図

11. 今後の課題

計算結果は、常識的な傾向を示しており、このシミュレーションモデルは、渋滞現象の再現に有効な手段となるものと思われるが、今後、以下に示すような点についての検討を加え、よりよいモデルに改良していく必要があろう。

- 1) パラメータの中には、運転者の反応の係数のように、机上の検討で設定したものが、今後、これらの値については、より具体的に検討する必要がある。そのためには、実験車を使った追従実験が有効であろう。また追従の式自体も確認する必要がある。
- 2) 各車ごとのバラツキの与え方も、机上の検討によるものが多く、その分布の形は、より具体的に検討する必要がある。また、現在は、一たん車両発生時に与えた値は変わらないとしているが、実際には、同一人物でも運転中に反応の強さが変化すると考えられるので、ランダムもしくは、交通の状況によって変化をさせるべきかもしれない。
- 3) 追従は、前車に対してのみの反応として考えているが、実際の運転では、ある程度前の車にも反応することがあり、それを考えるべきであろう。先の方の渋滞がわかっている場合には、前車が動き出してもしばらくは動かないというような行動も考えられる。
- 4) 渋滞現象を対象にするため、一車線のみを考えてもよいとしているが、一般性を増すためには、多車線を考える必要があり、追越しや車線変更を組みこむ必要がある。個々の車の加速度から考える方式のままで多車線まで範囲を拡げることは、演算時間の点で問題があるかもしれないが、試みる必要はあろう。また、渋滞のみを対象とする一車線シミュレーションとしても、他車線からの攪乱を考慮する必要があるかもしれない。

參考資料

```

1      C      *** CAR FOLLOWING SIMULATION ***
2      C
3      C      *** DIMENSION ***
4      C
5      PARAMETER K1=300
6      PARAMETER K2=10
7      PARAMETER K3=5
8      PARAMETER K4=12,K5=61
9      PARAMETER K6=120
10     PARAMETER K7=1000,K8=5
11     DIMENSION QS(9),QST(9)
12     DIMENSION FR(9),FXR(9),AIR(9),AIXR(9)
13     DIMENSION NQ(K4,K5,2),NE(K4,K5,2)
14     DIMENSION VSA(K4,K5),VIA(K4,K5),VHA(K4,K5)
15     DIMENSION NQA(K4),HEA(K4),VSA(K4),VIAA(K4),VHAA(K4)
16     DIMENSION RTC(4),VLA(4),VLS(4),VDA(4),VDS(4)
17     DIMENSION PNA(4),PHS(4),FDA(4),FDS(4)
18     DIMENSION XQ(K1),VQ(K1),FDQ(K1),CMQ(K1)
19     DIMENSION VDQ(K1),TLQ(K1),PNQ(K1),VLQ(K1),HTQ(K1),APQ(K1)
20     DIMENSION AQ(K1,K5)
21     DIMENSION XG(K2),SG(K2),DG(K2),HG(K2)
22     DIMENSION IPS(K2),IPE(K2),IGS(K2),IGE(K2),JGS(K2)
23     DIMENSION HG(K2,K6),OG(K2,K6)
24     DIMENSION IOP(4)
25     DIMENSION OPT(16)
26     DIMENSION IVS(K8,K7,2),XTV(K8),IVS(K8),IDIF(K8),DTVS(K8)
27     ABNORMAL RAND30,RAND40
28     INTEGER RAND40
29     DIMENSION VAA(K4,K5),NAE(K4,K5,2),VAAA(K4),NAEA(K4),
30     *      AET(K4),AEA(K4)
31     C
32     DIMENSION DJYUTA(K6)
33     C      *** INPUT ***
34     C
35     READ(5,1000) TS,TE,IR,IU
36     1000 FORMAT(F5.2,F5.0,2I5)
37     READ(5,1002) (QS(JE),QST(JE),JE=2,9)
38     1002 FORMAT(16F5.0)
39     READ(5,1010) RL,DRL,TAS,CTN,CMX,RTI,YTI,GTI
40     1010 FORMAT(3F5.0,F5.1,4F5.0)
41     READ(5,1020) (FR(JD),FXR(JD),JD=2,9)
42     1020 FORMAT(8F5.2,F5.0)
43     READ(5,1030) (AIR(JB),AIXR(JB),JB=2,9)
44     1030 FORMAT(8F5.1,F5.0)
45     READ(5,1040) RTC
46     1040 FORMAT(4F5.1)
47     READ(5,1050) VLA,VLS
48     1050 FORMAT(8F5.2)
49     READ(5,1060) VDA,VDS
50     1060 FORMAT(8F5.1)
51     READ(5,1060) PNA,PNS
52     READ(5,1050) FDA,FDS
53     READ(5,1070) TLA,TL5,CHA,CMS,CS,FKF,THF,CLF,DRA,DRB
54     1070 FORMAT(4F5.2,F5.1,2F5.2,2F5.3,F10.6)
55     READ(5,1080) XG
56     1080 FORMAT(16F5.0)

```

```

57      READ(5,1080) SG
58      READ(5,1090) DG
59      1090 FORMAT(16F5.2)
60      READ(5,1080) HG
61      READ(5,1100) TGM,SGM
62      1100 FORMAT(2F5.0)
63      120 READ(5,1102) IOP,DTOP
64      1102 FORMAT(4I5,F5.1)
65      IF(IOP(1).NE.0.AND.DTOP.LT.TS) DTOP=TS
66      READ(5,1080) SOPS,SOPF,SOPD
67      READ(5,1110) XTV
68      1110 FORMAT(3F5.0)
69      C
70      C      *** INPUT PRINT ***
71      C
72      WRITE(6,2000)
73      2000 FORMAT(1H1,///,3X,'CAR FOLLOWING SIMULATION')
74      WRITE(6,2010)
75      2010 FORMAT(1H0,///,7X,'TS      TE      IR      IU')
76      WRITE(6,2020)
77      2020 FORMAT(1H0,6X,'SEC      SEC')
78      IF(IR.EQ.0) IR=1776
79      IF(IU.EQ.0) IU=51
80      WRITE(6,2030) TS,TE,IR,IU
81      2030 FORMAT(1H0,F9.2,F7.0,F7.0,F7.0)
82      QS(1)=QS(2)
83      QST(1)=-1000.0
84      WRITE(6,2032) (QS(JE),JE=2,9)
85      2032 FORMAT(1H0,///,5X,'QS      VEH/H',8F8.0)
86      WRITE(6,2034) (QST(JE),JE=2,9)
87      2034 FORMAT(1H0,5X,'QST      SEC      ',8F8.0)
88      WRITE(6,2040)
89      2040 FORMAT(1H0,///,7X,'RL      DRL      TAS      CTM      CXM',4X,
90      *      'RTI      YTI      GTI')
91      WRITE(6,2050)
92      2050 FORMAT(1H0,7X,'M      M      SEC      SEC      M',5X,
93      *      'SEC      SEC      SEC')
94      WRITE(6,2060) RL,DRL,TAS,CTM,CXM,RTI,YTI,GTI
95      2060 FORMAT(1H0,F10.0,2F7.0,2F7.1,F7.0,3F6.0)
96      FR(1)=1.0
97      FXR(1)=-1000.0
98      WRITE(6,2070) (FR(JD),JD=2,9)
99      2070 FORMAT(1H0,///,5X,'FR',7X,8F8.2)
100      WRITE(6,2080) (FXR(JD),JD=2,9)
101      2080 FORMAT(1H0,5X,'FXR      M      ',8F8.0)
102      AIR(1)=0.0
103      AIRR(1)=-1000.0
104      WRITE(6,2090) (AIR(JB),JB=2,9)
105      2090 FORMAT(1H0,///,6X,'AIR      Z      ',8F8.1)
106      DO 10 JB=2,9
107      10 AIR(JB)=0.098*AIR(JB)
108      WRITE(6,2100) (AIR(JB),JB=2,9)
109      2100 FORMAT(1H0,5X,'AIR      M/S2',8F8.2)
110      WRITE(6,2110) (AIRR(JB),JB=2,9)
111      2110 FORMAT(1H0,5X,'AIRR      M      ',8F8.0)
112      WRITE(6,2120)
113      2120 FORMAT(1H0,///,9X,2(9X,'      140*2      5*3030      0E2      719*1*2*'))
114      WRITE(6,2130) RTC

```

```

115      2130 FORMAT(1H0,5X,'RTC',6X,'Z ',4F9.1)
116          RTC(1)=0.01*RTC(1)
117          DO 20 JA=2,4
118      20   RTC(JA)=RTC(JA-1)+0.01*RTC(JA)
119          WRITE(6,2140) RTC
120      2140 FORMAT(1H+,57X,'CUM ',4F9.3)
121          WRITE(6,2120)
122          WRITE(6,2150) VLA
123      2150 FORMAT(1H0,5X,'VLA',6X,'M ',4F9.2)
124          WRITE(6,2160) VLS
125      2160 FORMAT(1H0,5X,'VLS',6X,'M ',4F9.2)
126          WRITE(6,2120)
127          WRITE(6,2170) VDA
128      2170 FORMAT(1H0,5X,'VDA KM/H ',4F9.1)
129          DO 30 JA=1,6
130      30   VDA(JA)=VDA(JA)/3.6
131          WRITE(6,2180) VDA
132      2180 FORMAT(1H+,57X,'M/S ',4F9.2)
133          WRITE(6,2190) VDS
134      2190 FORMAT(1H0,5X,'VDS KM/H ',4F9.1)
135          DO 40 JA=1,4
136      40   VDS(JA)=VDS(JA)/3.6
137          WRITE(6,2180) VDS
138          WRITE(6,2120)
139          WRITE(6,2200) PNA
140      2200 FORMAT(1H0,5X,'PNA PS/T ',4F9.1)
141          DO 50 JA=1,4
142      50   PNA(JA)=0.75*PNA(JA)
143          WRITE(6,2210) PNA
144      2210 FORMAT(1H+,55X,'WATT/KG',4F9.1)
145          WRITE(6,2220) PNS
146      2220 FORMAT(1H0,5X,'PNS PS/T ',4F9.1)
147          DO 60 JA=1,4
148      60   PNS(JA)=0.75*PNS(JA)
149          WRITE(6,2210) PNS
150          WRITE(6,2120)
151          WRITE(6,2230) FDA
152      2230 FORMAT(1H0,5X,'FDA 1/S ',4F9.2)
153          WRITE(6,2240) FDS
154      2240 FORMAT(1H0,5X,'FDS 1/S ',4F9.2)
155          WRITE(6,2250)
156      2250 FORMAT(1H0,11,7X,'TLA TLS CMA CMS CS FKF TMF',
157          * 4X,'CLF DRA DRB')
158          WRITE(6,2260)
159      2260 FORMAT(1H0,6X,'SEC SEC M M',24X,
160          * '1/(KM/H) G G/(KM/H)2')
161          WRITE(6,2270) TLA, TLS, CMA, CMS, CS, FKF, TMF, CLF, DRA, DRB
162      2270 FORMAT(1H0,2X,4F7.2,2F7.1,2F7.2,2F8.3,F11.6)
163          CLF=3.6*CLF
164          DRA=9.8*DRA
165          DRB=9.8*3.6*3.5*DRB
166          WRITE(6,2280)
167      2280 FORMAT(1H0,53X,'1/(M/S) M/S2 1/M')
168          WRITE(6,2290) CLF, DRA, DRB
169      2290 FORMAT(1H0,51X,2F8.3,F10.5)
170          DO 70 J=1,K2
171          IF(XG(J),LT.0.1) GO TO 80
172      70   CONTINUE

```

```

173      JP=K2
174      GO TO 90
175      80 JP=J-1
176      90 CONTINUE
177      IF(JP, EQ, 0) GO TO 120
178      WRITE(6, 2310) (XG(JG), JG=1, JP)
179      2310 FORMAT(1H0, //, 5X, 'XG' M ' ', 16F7.0)
180      WRITE(6, 2320) (SG(JG), JG=1, JP)
181      2320 FORMAT(1H0, 5X, 'SG' MS ' ', 16F7.0)
182      DO 100 JG=1, JP
183      100 SG(JG)=0.001*SG(JG)
184      WRITE(6, 2330) (SG(JG), JG=1, JP)
185      2330 FORMAT(1H0, 11X, 'SEC' ' ', 16F7.3)
186      WRITE(6, 2340) (DG(JG), JG=1, JP)
187      2340 FORMAT(1H0, 5X, 'DG' M ' ', 16F7.2)
188      WRITE(6, 2350) (HG(JG), JG=1, JP)
189      2350 FORMAT(1H0, 5X, 'HG' MS ' ', 16F7.0)
190      DO 110 JG=1, JP
191      110 HG(JG)=0.001*HG(JG)
192      WRITE(6, 2360) (HG(JG), JG=1, JP)
193      WRITE(6, 2360)
194      2360 FORMAT(1H0, //, 7X, 'TGM' SGM')
195      WRITE(6, 2370)
196      2370 FORMAT(1H0, 6X, 'SEC' MS')
197      WRITE(6, 2380) TGM, SGM
198      2380 FORMAT(1H0, F9.0, F7.0)
199      SGM=0.001*SGM
200      WRITE(6, 2390)
201      2390 FORMAT(1H0, 13X, 'SEC')
202      WRITE(6, 2400) SGM
203      2400 FORMAT(1H0, 9X, F7.3)
204      WRITE(6, 2395) IOP, DTOP
205      2395 FORMAT(1H0, //, 5X, 'IOP', 5X, 415, 6X, F4.1, ' SEC')
206      IF(SOPD.LT.1.0) SOPD=SOPE-SOPS
207      WRITE(6, 2402) SOPS, SOPE, SOPD
208      2402 FORMAT(1H0, //, 5X, 'SOP' SEC ' ', 3F7.0)
209      DO 122 IV=1, K8
210      IF(XTV(IV).LT.0.1) GO TO 124
211      122 CONTINUE
212      IVE=K8
213      GO TO 126
214      124 IVE=IV-1
215      126 CONTINUE
216      WRITE(6, 2420) (XTV(IV), IV=1, K8)
217      2420 FORMAT(1H0, //, 5X, 'XTV' M ' ', 16F7.0)
218      128 CONTINUE
219      C
220      C      *** INITIALIZATION ***
221      C
222      DO 140 ID=1, K4
223      DO 130 IB=1, K5
224      DO 130 JC=1, 2
225      NQ(ID, IB, JC)=0
226      NE(ID, IB, JC)=0
227      VSA(ID, IB)=0.0
228      VIA(ID, IB)=0.0
229      VHA(ID, IB)=0.0
230      130 CONTINUE

```

```

231      NQA(ID)=0
232      NEA(ID)=0
233      VSAA(ID)=0
234      VIAA(ID)=0
235      140 CONTINUE
236      DO 150 J=1,K2
237      IPS(J)=0
238      IPE(J)=0
239      IGE(J)=0
240      DO 150 JD=1,K6
241      NG(J,JD)=0
242      OG(J,JD)=0.0
243      150 CONTINUE
244      CTI=RTI+YTI+GTI
245      NB =TE/TAS*0.01
246      ND =RL/DRL*0.01
247      NP =TE/TGM*0.01
248      IF(ND.GE.K4) STOP 'CHECK RL/DRL'
249      IF(NB.GE.K5) STOP 'CHECK TE/TAS'
250      IF(NP.GT.K6) STOP 'CHECK TE/TGM'
251      DO 160 IO=1,6
252      IF(IOP(IO).EQ.0) GO TO 170
253      160 CONTINUE
254      IOE=6
255      GO TO 180
256      170 IOE=IO-1
257      180 CONTINUE
258      DO 190 IV=1,IVE
259      TOIF(IV)=0
260      190 IVS(IV)=0
261      IP=0
262      IT=0
263      IH=0
264      IC1=-1
265      ISIG=0
266      IEX=2
267      IPD=0
268      SOP=SOPS
269      C
270      C      *** SIMULATION START ***
271      C
272      IF(IOE.NE.0) WRITE(6,2430)
273      2430 FORMAT(1H1,///,' TIME(SEC)',4X,4('X(M) DX(M) V(M/S) ACH(M/S2) '),/)
274      C
275      C      *** CALCULATION AT EACH TIME ***
276      C
277      200 CONTINUE
278      T=IT+TS
279      IF(T.GT.TE+0.01) GO TO 900
280      IB=INT((T+TS-0.01)/TAS)+1
281      C
282      C      *** CHECK ON SIGNAL ***
283      C
284      IF(RTI.LT.0.01) GO TO 240
285      IF(IP.EQ.0) GO TO 240
286      ISY=(AMOD(T+0.01,CTI)-GTI)/TS
287      ISG=AMOD(T+0.01,CTI)/TS
288      IF(ISY.EQ.0) GO TO 210

```

```

289      IF(ISG.EQ.0) ISIG=0
290      GO TO 240
291  210 DO 220 I=1,IP
292      V=VQ(I)
293      X=XQ(I)
294      IF(V*YI.GT.RL-X*VLQ(I)) GO TO 220
295      IF(V*Y/(RL-X)/2.0.LT.2.0) GO TO 230
296  220 CONTINUE
297      ISIG=0
298      GO TO 240
299  230 ISIG=1
300  240 CONTINUE
301  C
302  C      *** CAR GENERATION ***
303  C
304      IF(IH.EQ.0) GO TO 250
305      IH=IH-1
306      GO TO 280
307  250 DO 252 IE=2,9
308      IF(T.LT.QST(IE)) GO TO 254
309  252 CONTINUE
310      STOP 'QST'
311  254 QM=3600.0*(QST(IE)-QST(IE-1))/((T-QST(IE-1))*QS(IE)+(QST(IE)-T)
312      *QS(IE-1))
313      IH=(1.0+(QM-1.0)*RAND30(IR))/TS-0.5
314      IP=IP+1
315      IF(IP.GT.K1) STOP 'IP.GT.K1'
316      RMT=RAND20(IR)
317      MTQ(IP)=1
318      DO 260 IA=1,3
319      IF(RMT.GT. RTC(IA)) MTQ(IP)=IA+1
320  260 CONTINUE
321      IA=MTQ(IP)
322      VLQ(IP)=RANDS(VLA(IA),VLS(IA),IR)
323      VDQ(IP)=RANDS(VDA(IA),VDS(IA),IR)
324      PNQ(IP)=RANDS(PNA(IA),PNS(IA),IR)
325      FDQ(IP)=RANDS(FDA(IA),FDS(IA),IR)
326      TLQ(IP)=RANDS(TLA, TLS, IR)
327      CMQ(IP)=RANDS(CMA, CMS, IR)
328      XQ(IP)=0.0
329      VQ(IP)=VDQ(IP)
330      APQ(IP)=0.0
331      DO 270 IL=1,K3
332      AQ(IP,IL)=0.0
333      IF(IOE.EQ.0) GO TO 280
334      DO 272 IO=1,IOE
335      IF(IOP(IO).EQ.IP) GO TO 274
336  272 CONTINUE
337      GO TO 280
338  274 WRITE(6,4000) IP+IPD,MTQ(IP),VLQ(IP),VDQ(IP),PNQ(IP),FDQ(IP),
339      & TLQ(IP),CMQ(IP)
340  4000 FORMAT(1H0,' NO',I4,' CAR START',4X,'MT=',I1,' VL=',F4.1,
341      & ' VD=',F4.1,' PN=',F4.1,' FD=',F4.2,' TL=',F3.1,
342      & ' CH=',F4.2,/)
343  280 CONTINUE
344  C
345  C      *** COUNT ON EACH SECTION NAE VAA ***
346  C

```

```

347      TAMOD=AMOD(T+0.01,TAS/10)
348      IF(INT(TAMOD/TS).NE.0) GO TO 290
349      DO 288 I=1,IP
350      ID=XQ(I)/DRL+1.00001
351      IF(ID.GT.ND) GO TO 288
352      IA=MTQ(I)
353      IF(IA.GT.2) IA=2
354      NAE(ID,IB,IA)=NAE(ID,IB,IA)+1
355      VAA(ID,IB)=VAA(ID,IB)+VQ(I)
356 288 CONTINUE
357 290 CONTINUE
358
359 C      *** COUNT ON EACH SECTION NE VSA ***
360 C
361      TAMOD=AMOD(T+0.01,TAS)
362      IF(INT(TAMOD/TS).NE.0) GO TO 310
363      DO 300 I=1,IP
364      ID=XQ(I)/DRL+1.00001
365      IF(ID.GT.ND) GO TO 300
366      IA=MTQ(I)
367      IF(IA.GT.2) IA=2
368      NE(ID,IB,IA)=NE(ID,IB,IA)+1
369      VSA(ID,IB)=VSA(ID,IB)+VQ(I)
370 300 CONTINUE
371 310 CONTINUE
372
373 C      *** OPTIONAL OUTPUT ***
374 C
375      IF(IOE.EQ.0) GO TO 360
376      IF(AMOD(T+0.01,OTOP).GT.0.02) GO TO 360
377      DO 320 JO=1,16
378 320 OPT(JO)=0.0
379      DO 330 IO=1,IOE
380      DO 330 I=1,IP
381      IF(1.NE.IOP(IO)) GO TO 330
382      OPT(4*IO-3)=XQ(I)
383      OPT(4*IO-1)=VQ(I)
384      OPT(4*IO)=APQ(I)
385      IF(1.EQ.1) GO TO 322
386      OPT(4*IO-2)=XQ(I-1)-VLQ(I-1)-XQ(I)
387      GO TO 330
388 322 OPT(4*IO-2)=0.0
389 330 CONTINUE
390      DO 340 JO=1,16
391      IF(OPT(JO).GT.0.01) GO TO 350
392 340 CONTINUE
393      GO TO 360
394 350 WRITE(6,4010) T,OPT
395 4010 FORMAT(1H ,F8.2,2X,4(F9.1,F6.1,FS.1,FS.2))
396 360 CONTINUE
397
398 C      *** OPTIONAL SPACE DATA OUTPUT ***
399 C
400      IF(SOP.LT.0.1) GO TO 390
401      IF(ABS(SOP-T).GT.0.01) GO TO 390
402      WRITE(6,4020) T
403 4020 FORMAT(1H ,F7.5X,'OPTIONAL SPACE DATA OUTPUT      T=',F6.0,'SEC',/)
404      WRITE(6,4030)

```

```

405 4030 FORMAT(1H,7X,'1'7X,'X',7X,'X0',6X,'V',6X,'AP',4X,'IA',4X,'VL',5X,
406      *      'VD',4X,'PN',4X,'FD',5X,'FK',4X,'CM',4X,'CF',4X,'TL',//)
407      DO 380 I=1,IP
408      IF(I.EQ.1) GO TO 370
409      XD=XQ(I-1)-VLQ(I-1)-XQ(I)
410      GO TO 372
411 370 XD=0.0
412 372 CONTINUE
413      WRITE(6,4040) I+IPD,XQ(I),XD,VQ(I),APQ(I),MTQ(I),VLQ(I),VDQ(I),
414      *      PNO(I),FDQ(I),FDQ(I)+FDQ(I)+FKF,CMQ(I),CMQ(I)+CLF,TLQ(I)
415 4040 FORMAT(1H,18,F10.1,F8.2,F7.1,F8.2,15,F7.1,F7.2,F8.3,F6.1,2F7.2)
416 380 CONTINUE
417      SOP=SOP+SOPD
418      IF(SOP.GT.SOPE) SOP=0.0
419 390 CONTINUE
420 C
421 C      *** CALCULATION ON EACH CAR ***
422 C
423      DO 800 I=1,IP
424      FD=FDQ(I)
425      FK=FKF+FD*FD
426      CM=CMQ(I)
427      CL=CLF+CM
428      PN=PNO(I)
429      TL=TLQ(I)
430      TM=TMF+TL
431      LT=TL/TS+0.5
432      MT=TM/TS+0.5
433      IF(I.EQ.1) MT=0
434      IF(I.EQ.1) GO TO 392
435      IF(MTQ(I-1).NE.1) MT=0
436 392 CONTINUE
437      AP=APQ(I)
438      IA=MTQ(I)
439      X=XQ(I)
440      V=VQ(I)
441      DO 400 JD=2,9
442      IF(X.LT.FXR(JD)) GO TO 410
443 400 CONTINUE
444      STOP 'FXR'
445 410 FXA=FXR(JD-1)
446      FXB=FXR(JD)
447      F=(FR(JD)*(X-FXA)+FR(JD-1)*(FXB-X))/(FXB-FXA)
448      VD=F*VDQ(I)
449      IF(I.EQ.IP) GO TO 418
450      IF(VDQ(I).GT.VDQ(I+1)) GO TO 418
451      IF(V.LT.VD-0.01) GO TO 418
452      IF(V.LT.VQ(I+1)-0.01) GO TO 418
453      VD=VD+1.1
454      IF(VD.GT.VDQ(I+1)*F) VD=F*VDQ(I+1)
455 418 CONTINUE
456      DO 420 JB=2,9
457      IF(X.LT.AIXR(JB)) GO TO 430
458 420 CONTINUE
459      STOP 'AIXR'
460 430 AIXA=AIXR(JB-1)
461      AIXB=AIXR(JB)
462      AI=(AIR(JB)*(X-AIXA)+AIR(JB-1)*(AIXB-X))/(AIXB-AIXA)

```

```

463 C
464 C *** CALCULATION OF XF AND VF ***
465 C
466 IF(CTH.LT.0.01) GO TO 490
467 IF(X.LT.RL-CXM) GO TO 520
468 IF(1.NE.1) GO TO 540
469 IF(1C1.GT.0) GO TO 470
470 IF(1C1.EQ.0) GO TO 520
471 IF(V.GT.1.0) GO TO 500
472 IF(X.LT.RL-2.5) GO TO 500
473 1C1=(RAND30(1U)*CTH)/TS+0.5
474 IF(V*1C1*TS.LT.0.5) GO TO 480
475 1C1=-1
476 GO TO 500
477 470 1C1=1C1-1
478 480 AF=0.0
479 APQ(1)=0.0
480 VN=V
481 XN=X+TS*V
482 GO TO 650
483 490 IF(1.NE.ISIG) GO TO 520
484 500 XF=RL+C4
485 VF=0.0
486 GO TO 550
487 520 IF(1.NE.1) GO TO 540
488 XF=RL+1000.0
489 VF=VD
490 GO TO 550
491 540 XF=XQ(1-1)-VLQ(1-1)
492 VF=VQ(1-1)
493 550 CONTINUE
494 C
495 C *** CALCULATION OF A,VN,XN ***
496 C
497 DO 600 IL=1,MT+1
498 A=(AQ(1,IL)+AQ(1,IL+1))/2.0
499 IF(A*AP.LT.0.0) GO TO 610
500 AP=A
501 600 CONTINUE
502 610 IF(V.GT.0.5) GO TO 620
503 AP=APQ(1)
504 IF(1.EQ.1) GO TO 620
505 IF(AP.GT.0.2.OR.AP.LT.-0.3) GO TO 620
506 IF(A.LT.0.2.AND.A.GT.AP) A=AP
507 620 VA=V
508 IF(VA.LT.2.0) VA=2.0
509 AV=PN/VA-DRA-DRB*V*V-AI
510 IF(A.GT.AV) A=AV
511 IF(A.GT.3.92) A=3.92
512 IF(A.LT.-5.88) A=-5.88
513 APQ(1)=A
514 VN=V+A*TS
515 IF(VN.GT.1.1*VD) VN=1.1*VD
516 IF(VN.LT.0.0) VN=0.0
517 XN=X+(V+VN)*TS/2.0
518 C
519 C *** CALCULATION OF AF ***
520 C

```

```

521      XD=XF-X
522      IF(XD.LT.0.01) GO TO 628
523      CD=CM+CL*V
524      SC=CS*CD
525      IF(XD.GT.SC) GO TO 630
526      IF(VF.GT.VD) VF=VD
527      IF(XD.GT.SC/2.0) GO TO 640
528      AF=(FD*(VF-V)+FK*(XD-CD))*CD/XD
529      GO TO 650
530      628 AF=-5.88
531      GO TO 650
532      630 AF=FD*(VD-V)/CS
533      GO TO 650
534      640 P=2.0*(XD/SC-0.5)
535      AF=(FD*(VF*(1.3-P)+VD*P-V)+FK*(1.0-P)*(XD-CD))*CD/XD
536      650 CONTINUE
537      DO 660 IL=1,LT+MT
538      660 AQ(IL,IL)=AQ(IL,IL+1)
539      AQ(IL,LT+MT+1)=AF
540
541      C
542      C      *** DETECTOR COUNT NG OG ***
543      C
544      IF(JP.EQ.0) GO TO 752
545      DO 750 J=1,JP
546      IF(1.NE.IPS(J)+1) GO TO 690
547      XGA=XG(J)-OG(J)/2.0
548      IF(XN.LT.XGA+0.001) GO TO 740
549      TGS=T+(XGA-X)/(XN-X)*TS
550      SGA=SG(J)
551      IF(SGA.LT.0.0001) GO TO 670
552      TGS=SGA*(INT(TGS/SGA)+1)
553      670 IDS=INT(TGS/SGM)+1
554      JDS=INT(IDS*SGM/TGM)+1
555      IDE=IGE(J)
556      IF(IDS.LE.IDE) IDS=IDE+1
557      IGS(J)=IDS
558      JGS(J)=JDS
559      IF(IDS.EQ.IDE+1) GO TO 680
560      NG(J,JDS)=NG(J,JDS)+1
561      680 IPS(J)=IPS(J)+1
562      690 IF(1.NE.IPE(J)+1) GO TO 740
563      VL=VLQ(I)
564      SGA=SG(J)
565      IF(SGA.GT.0.0001) GO TO 700
566      IF(1A.NE.1.AND.1A.NE.3) GO TO 700
567      VL=0.9*VL
568      700 XGB=XG(J)+DG(J)/2.0
569      IF(XN-VL.LT.XGB+0.001) GO TO 740
570      TGE=T+(XGB-X+VL)/(XN-X)*TS
571      IF(SGA.LT.0.0001) GO TO 710
572      TGE=SGA*(INT(TGE/SGA)+HG(J))
573      710 IDE=TGE/SGM
574      JDE=INT(IDE*SGM/TGM)+1
575      JDS=JGS(J)
576      IF(JDS.EQ.JDE) GO TO 720
577      OG(J,JDS)=OG(J,JDS)+(JDS*TGM-IGS(J)*SGM)
578      OG(J,JDE)=OG(J,JDE)+((IDE+1)*SGM-(JDE-1)*TGM)
579      GO TO 730

```

```

579      720 OG(J,JDS)=OG(J,JDS)+(IDE-IGS(J)+1)*SGM
580      730 IGE(J)=IDE
581      IPE(J)=IPE(J)+1
582      740 CONTINUE
583      750 CONTINUE
584      752 CONTINUE
585  C
586  C      *** COUNT AT EACH SECTION END NO VIA VHA ***
587  C
588      DO 760 ID=1,ND+1
589      XNQ=(ID-1)*DRL
590      IF(XN.LT.XNQ+0.001) GO TO 760
591      IF(X.GT.XNQ) GO TO 760
592      IF(IA.GT.2) IA=2
593      NQ(ID,IB,IA)=NQ(ID,IB,IA)+1
594      IA=MTQ(I)
595      VIAD=(V*(XN-XNQ)+VN*(XNQ-X))/(XN-X)
596      VIA(ID,IB)=VIA(ID,IB)+VIAD
597      VHA(ID,IB)=VHA(ID,IB)+1.0/VIAD
598      760 CONTINUE
599  C
600  C      *** SPEED AND TIME AT EACH POINT TVS ***
601  C
602      IF(IVE.EQ.0) GO TO 790
603      DO 780 IV=1,IVE
604      IVSA=IVS(IV)+1
605      IF(I+IDIF(IV).NE.IVSA) GO TO 780
606      IF(XN.LT.XTV(IV)+0.001) GO TO 780
607      TVSD=(XTV(IV)-X)/(XN-X)
608      TVS(IV,IVSA,1)=T+TVSD*TS
609      TVS(IV,IVSA,2)=1000.*IA*(V+TVSD*(VN-V))
610      IVS(IV)=IVS(IV)+1
611      IF(IVSA.GE.K7) XTV(IV)=99999.9
612      780 CONTINUE
613      790 CONTINUE
614  C
615  C      *** END OF CALCULATION OF EACH CAR ***
616  C
617      XQ(I)=XN
618      VQ(I)=VN
619      800 CONTINUE
620  C
621  C      *** CAR TERMINATION ***
622  C
623      IF(CTM.LT.0.01) GO TO 830
624      IF(XQ(IEI)-VLQ(IEI).LT.RL-CXM) GO TO 810
625      IP=IP-1
626      IPD=IPD+1
627      DO 802 I=IEI,IP
628      MTQ(I)=HTQ(I+1)
629      VLQ(I)=VLQ(I+1)
630      VDO(I)=VDO(I+1)
631      PNO(I)=PNO(I+1)
632      FDO(I)=FDO(I+1)
633      TLQ(I)=TLQ(I+1)
634      CMQ(I)=CMQ(I+1)
635      XQ(I)=XQ(I+1)
636      VQ(I)=VQ(I+1)

```

```

637      APQ(I)=APQ(I+1)
638      DO 801 IL=1,K3
639      801 AQ(I,IL)=AQ(I+1,IL)
640      802 CONTINUE
641      DO 804 J=1,JP
642      IF(IPS(J).LT.IEX) GO TO 804
643      IPS(J)=IPS(J)-1
644      IF(IPE(J).LT.IEX) GO TO 804
645      IPE(J)=IPE(J)-1
646      804 CONTINUE
647      DO 806 IV=1,IVE
648      IF(IVS(IV)-10*IF(IV).LT.IEX) GO TO 806
649      IDIF(IV)=IDIF(IV)+1
650      806 CONTINUE
651      DO 808 IO=1,IOE
652      IF(IOP(IO).LT.IEX) GO TO 808
653      IF(IOP(IO).EQ.IEX) IOP(IO)=1
654      IOP(IO)=IOP(IO)-1
655      808 CONTINUE
656      IEX=IEX+RAND40(IU,1,0)
657      810 IF(XQ(1)-VLQ(1).LT.RL) GO TO 890
658      IC1=-1
659      GO TO 840
660      830 IF(XQ(2).GT.RL+100,0) GO TO 840
661      IF(XQ(1).LT.RL+200,0) GO TO 890
662      840 IP=IP-1
663      IPD=IPD+1
664      DO 860 I=1,IP
665      MTQ(I)=MTQ(I+1)
666      VLQ(I)=VLQ(I+1)
667      VDO(I)=VDO(I+1)
668      PNO(I)=PNO(I+1)
669      FDO(I)=FDO(I+1)
670      TLO(I)=TLO(I+1)
671      CMQ(I)=CMQ(I+1)
672      XQ(I)=XQ(I+1)
673      VQ(I)=VQ(I+1)
674      APQ(I)=APQ(I+1)
675      DO 850 IL=1,K3
676      850 AQ(I,IL)=AQ(I+1,IL)
677      860 CONTINUE
678      DO 870 J=1,JP
679      IPS(J)=IPS(J)-1
680      IPE(J)=IPE(J)-1
681      870 CONTINUE
682      ISIG=ISIG-1
683      DO 872 IV=1,IVE
684      872 IDIF(IV)=IDIF(IV)+1
685      DO 880 IO=1,IOE
686      880 IOP(IO)=IOP(IO)-1
687      IEX=IEX-1
688      890 CONTINUE
689      IT=IT+1
690      GO TO 200
691      900 CONTINUE
692      C
693      C      *** TVS PRINT ***
694      C

```

```

695         IF(IVE.EQ.0) GO TO 930
696         WRITE(6,6000)
697     6000 FORMAT(1H1,/,/, ' TIME AND SPEED AT EACH POINT')
698         WRITE(6,6002) (XTV(IV),IV=1,IVE)
699     6002 FORMAT(1H0,5X,'X(H) ',5(10X,F7.0,8X))
700         WRITE(6,6010)
701     6010 FORMAT(1H0,2X,'COUNT',5(' T(SEC) DT(S) V(M/S) IA'))
702         IVM=0
703         DO 910 IV=1,IVE
704             IF(IVM.LT.IVS(IV)) IVM=IVS(IV)
705     910 CONTINUE
706         DO 920 IC=1,IVM
707             DO 914 IV=1,IVE
708                 IF(IC.EQ.1) GO TO 912
709                 DTVS(IV)=TVS(IV,IC,1)-TVS(IV,IC-1,1)
710                 IF(DTVS(IV).LT.0.0) DTVS(IV)=0.0
711                 GO TO 914
712     912 DTVS(IV)=0.0
713     914 CONTINUE
714         WRITE(6,6020) IC,(TVS(IV,IC,1),DTVS(IV),AMOD(TVS(IV,IC,2),
715             * 1000.0), INT(TVS(IV,IC,2)/1000.0),IV=1,IVE)
716     6020 FORMAT(1H ,17,5(F9.1,F7.2,F6.1,13))
717         920 CONTINUE
718         930 CONTINUE
719     C
720     C     *** NE VSA PRINT ***
721     C
722         WRITE(6,6022) DRL
723     6022 FORMAT(1H1,/,/,5X,'NE VSA PRINT DRL=',F5.0,'M')
724         WRITE(6,6040) (DRL*(ID-1),ID=1,ND+1)
725         WRITE(6,6042)
726         DO 933 IB=1,NB
727             DO 932 ID=1,ND
728                 NEA(ID)=NE(ID,IB+1,1)+NE(ID,IB+1,2)
729                 IF(NEA(ID).EQ.0) GO TO 931
730                 VSAA(ID)=VSA(ID,IB+1)/NEA(ID)*3.6
731                 GO TO 932
732     931 VSAA(ID)=-0.001
733     932 CONTINUE
734         WRITE(6,6060) IB*TAS,(NEA(ID),ID=1,ND)
735         WRITE(6,6060) IB*TAS,(NE(ID,IB+1,1),ID=1,ND)
736         WRITE(6,6024) (VSAA(ID),ID=1,ND)
737     6024 FORMAT(1H ,10X,20F6.1)
738     933 CONTINUE
739     C
740     C     *** NQ VIA VHA PRINT ***
741     C
742         WRITE(6,6026) TAS
743     6026 FORMAT(1H1,/,/,5X,'NQ VIA VHA PRINT TAS=',F5.0,'SEC')
744         WRITE(6,6040) (DRL*(ID-1),ID=1,ND+1)
745         WRITE(6,6042)
746         DO 938 IB=1,NB
747             DO 937 ID=1,ND+1
748                 NQA(ID)=NQ(ID,IB,1)+NQ(ID,IB,2)
749                 IF(NQA(ID).EQ.0) GO TO 936
750                 VIAA(ID)=VIA(ID,IB)/NQA(ID)*3.6
751                 VHAA(ID)=3.6/(VHA(ID,IB)/NQA(ID))
752                 GO TO 937

```

```

753      936 VIAA(ID)=-0.001
754      VHAA(ID)=-0.001
755      937 CONTINUE
756          WRITE(6,6050) (NQA(ID),ID=1,ND+1)
757          WRITE(6,6050) (NQ(ID,IB,1),ID=1,ND+1)
758          WRITE(6,6028) IB*TAS,CVIAA(ID),ID=1,ND+1)
759          WRITE(6,6028) IB*TAS,(VHAA(ID),ID=1,ND+1)
760      6028 FORMAT(1H ,F7.0,21F6.1)
761      938 CONTINUE
762  C
763      *** NAE VAA PRINT ***
764  C
765      WRITE(6,6029) TAS
766      6029 FORMAT(1H1,/,/,SX,'NAE VAA PRINT TAS=',F5.0,'SEC')
767      WRITE(6,6040) (DRL*(ID-1),ID=1,ND+1)
768      WRITE(6,6042)
769      DO 946 IB=1,NB
770      DO 944 ID=1,ND
771          NAEA(ID)=NAE(ID,IB,1)+NAE(ID,13,2)
772          AEA(ID)=NAEA(ID)/10.0
773          AE1(ID)=NAE(ID,18,1)/10.0
774          IF(NAEA(ID).EQ.0) GO TO 942
775          VAAA(ID)=VAA(ID,IB)/NAEA(ID)*3.6
776          GO TO 944
777      942 VAAA(ID)=-0.001
778      944 CONTINUE
779      WRITE(6,6030) (AEA(ID),ID=1,ND)
780      WRITE(6,6030) (AE1(ID),ID=1,ND)
781      6030 FORMAT(1H ,11X,20F6.1)
782      WRITE(6,6032) IB*TAS,(VAAA(ID),ID=1,ND)
783      6032 FORMAT(1H ,F7.0,3X,20F6.1)
784      946 CONTINUE
785  C
786      *** NE NQ PRINT ***
787  C
788      WRITE(6,6038) TAS,DRL
789      6038 FORMAT(1H1,/,/,SX,'NE NQ PRINT TAS=',F5.0,'SEC',3X,'DRL=',F5.0,
790      * 'M')
791      WRITE(6,6040) (DRL*(ID-1),ID=1,ND+1)
792      6040 FORMAT(1H0,' T(SEC) ',21F6.0)
793      WRITE(6,6042)
794      6042 FORMAT(1H )
795      DO 950 IB=1,NB
796      DO 940 ID=1,ND+1
797          NQA(ID)=NQ(ID,IB,1)+NQ(ID,IB,2)
798          NEA(ID)=NE(ID,IB+1,1)+NE(ID,IB+1,2)
799      940 CONTINUE
800      WRITE(6,6050) (NQA(ID),ID=1,ND+1)
801      6050 FORMAT(1H ,8X,21F6)
802      WRITE(6,6050) (NQ(ID,IB,1),ID=1,ND+1)
803      WRITE(6,6060) IB*TAS,(NEA(ID),ID=1,ND)
804      6060 FORMAT(1H ,F7.0,4X,20F6)
805      WRITE(6,6060) IB*TAS,(NE(ID,IB+1,1),ID=1,ND)
806      950 CONTINUE
807  C
808      *** VSA VIA VHA PRINT ***
809  C
810      WRITE(6,6070) TAS,DRL

```

```

811 6070 FORMAT(1H1,/,5X,'VSA VIA PRINT TAS=',F5.0,'SEC',3X,'DRL=',
812 + F5.0,'M')
813 WRITE(6,6040) (DRL*(ID-1),ID=1,ND+1)
814 WRITE(6,6042)
815 DO 970 IB=1,NB
816 DO 960 ID=1,ND+1
817 VSAA(ID)=VSA(ID,IB+1)
818 NEA(ID)=NE(ID,IB+1,1)+NE(ID,IB+1,2)
819 IF(NEA(ID).EQ.0) GO TO 952
820 VSAA(ID)=VSAA(ID)/NEA(ID)*3.6
821 GO TO 954
822 952 VSAA(ID)=-0.001
823 954 CONTINUE
824 VIAA(ID)=VIA(ID,IB)
825 VHAA(ID)=VHA(ID,IB)
826 NQA(ID)=NQ(ID,IB,1)+NQ(ID,IB,2)
827 IF(NQA(ID).EQ.0) GO TO 956
828 VIAA(ID)=VIAA(ID)/NQA(ID)*3.6
829 VHAA(ID)=3.6/(VHAA(ID)/NQA(ID))
830 GO TO 960
831 956 VIAA(ID)=-0.001
832 VHAA(ID)=-0.001
833 960 CONTINUE
834 WRITE(6,6080) (VIAA(ID),ID=1,ND+1)
835 WRITE(6,6080) (VHAA(ID),ID=1,ND+1)
836 6080 FORMAT(1H ,9X,21F6.1)
837 WRITE(6,6090) IB,TAS,(VSAA(ID),ID=1,ND)
838 6090 FORMAT(1H ,F7.0,5X,20F6.1)
839 970 CONTINUE
840 C
841 C *** NG OG PRINT ***
842 C
843 WRITE(6,6100) TGM
844 6100 FORMAT(1H1,/,5X,'NG OG PRINT TGM=',F5.0,'SEC')
845 WRITE(6,6102) (J,J=1,JP)
846 6102 FORMAT(1H0,' T(SEC) ',16I7)
847 WRITE(6,6103) (XG(J),J=1,JP)
848 6103 FORMAT(1H0,4X,'X(M)',16F7.0)
849 WRITE(6,6042)
850 DO 980 JB=1,NP
851 WRITE(6,6104) (NG(J,JB),J=1,JP)
852 6104 FORMAT(1H ,8X,16I7)
853 WRITE(6,6110) (OG(J,JB)/TGM*100.0,J=1,JP)
854 6110 FORMAT(1H ,11X,16F7.1)
855 WRITE(6,6120) TGM*JB
856 6120 FORMAT(1H ,F7.0)
857 980 CONTINUE
858 STOP
859 END

1 C *** FUN NORMAL DISTRIBUTION ***
2 C
3 FUNCTION RANDS(A,S,I)
4 10 X=RAND10(I)
5 IF(ABS(X).GT.2.0) GO TO 10
6 RANDS=A+S*X
7 RETURN
8 END

```