

交通流シミュレーション*

Traffic Simulation

小林 信雄¹⁾
Nobuo KOBAYASHI

八木 昌男²⁾
Masao YAGI

岡本 征四郎³⁾
Seishiro OKAMOTO

横田 成昭⁴⁾
Shigeaki YOKOTA

The bases of the traffic simulation are constructed in terms of GPSS. The characteristics of this method are examined by the application to a simple model case, whose results exhibit to reproduce the actual traffic features.

The new simulation method will provide applicability than the extent ones.

I. はじめに

道路交通が道路、車、人、信号等の総合的な交通システムとしてとらえられるようになって久しい。道路交通を研究する上でシミュレーションは不可欠の手段となっている。本論においては、これまでの成果を取り入れつつ、個別的なケースに適用し得るシミュレーションモデルの確立を目的とし、具体的な例として本学近辺の交通現象の解析を行なう。

モデルをより現実現象に近づけるため道路交通流の諸要因は、理論的仮定条件をさけ、できるかぎり実験値を与えると同時に、再現性を高めるために実証的検討をくり返し行なうこととした。

現段階においては、目的とする本学周辺道路網全体の道路交通シミュレーションには至っていないが、最も基本となり、かつ変化要因の大きい交差点を含む交通シミュレーションモデルが、ほぼ満足できる結果を得たので報告する。

II. 現状の道路交通測定

対象道路は本学周辺道路網の一部（交差点及び信号を含む）である。

実際の交通現象の特性に影響を与えると思われる要因である、自動車密度、速度、車種、車間距離、信号変化時間等を可能なかぎり対象道路上にて実測した。

諸要因が相関して一定現象を形成していることから、すべての要因は同時間に測定しなければならない。これらを個々に独立して測定することは、技術的にも人間的にも非常に困難である。そこで本測定は、広角レンズによるビデオテープ録画方法を採用した。すなわち、数種の一定時間帯における道路上を録画し、その結果を解析することにより求めた。

Fig II - 1 および 2 は信号前後における自動車の減速、加速状態を示す（信号による停止線は30m）

*昭和55年2月1日原稿受理

1) 大阪産業大学工学部機械工学科

2), 3), 4) 大阪産業大学工学部交通機械工学科

Fig II - 3 および 4 は各速度における自動車台数を示す (測定道路の制限速度は40km/h)

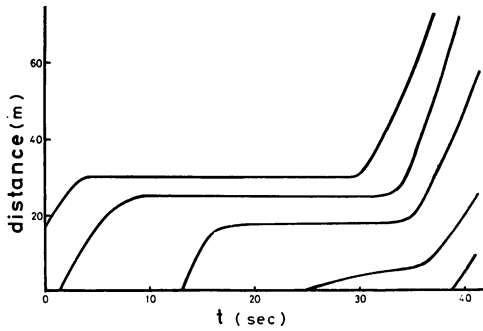


Fig. II -1 Running pattern (actualities)

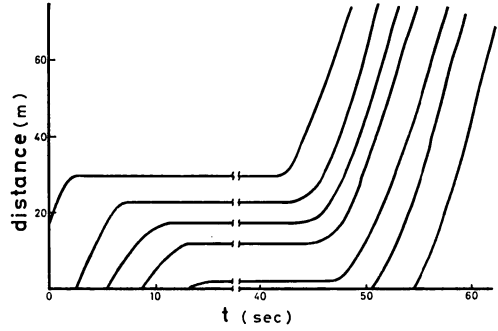


Fig. II -2 Running pattern (actualities)

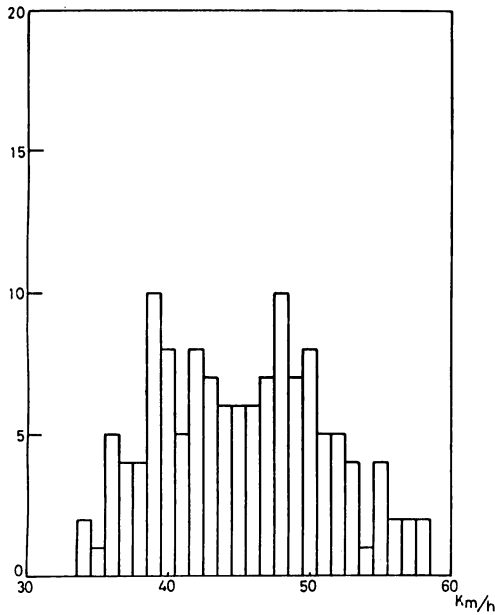


Fig. II -3 The number of cars in various running speed

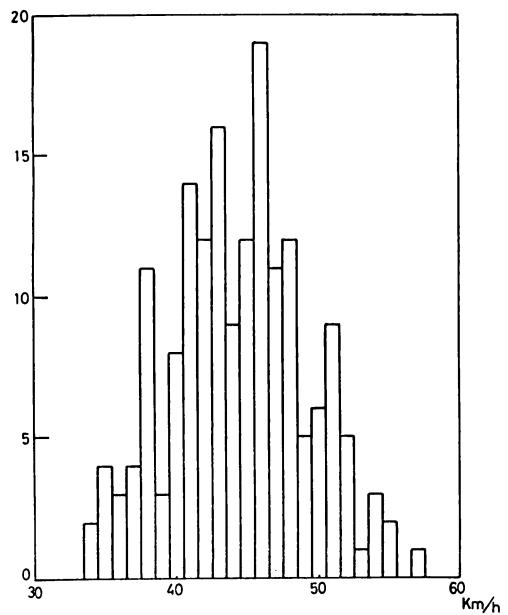


Fig. II -4 The number of cars in various running speed

III. 交通流シミュレーション

交通流のシミュレーションには大別して、マクロ的なものとミクロ的なものに別けることができる。マクロ的なものの例としては、交通流を一種の流体としてとらえる流体モデルである¹⁾。ミクロ的方法は車を1台ずつ動かして行く方法であり、より現実的であるが²⁾、コンピュータの記憶容量等の制限のために大規模なモデルには不適とされて来たが、近年のコンピュータの演算速度、記憶容量の飛躍的進歩に伴ない、かなりの規模まで取り扱えるようになった。本学に導入されたコンピュータでは数千台の車を含むシステムの解析が可能である。

交通流シミュレーションを記述する言語としては多くの場合FORTRANが使用されているが、本論

ではシミュレーション用言語の一種である GPSS(General Purpose Simulation System)を使用した。このことにより、モデルの拡張が容易になり、シミュレーション中の諸量を豊富に得ることができる。

Ⅲ-1 構成

モデルはいくつかの独立した部分から構成される。

a) 車輛記述部

モデルの中核であり、道路ブロック、交差点ブロック及びそれらの中を動く車群から成る。モデル中の車は Table 1 のパラメータで特徴付けられる。道路の特性はマトリックスに登録される。Table 2 にそれを示す。

b) 信号制御部

交差点に付随する多数の信号を一括してコントロールする。信号の特性はマトリックスに登録される。これを Table 3 に示す。

c) エラーモニタ部

シミュレーション中のソフト的エラーを監視する。

d) シミュレーション制御部

シミュレーション時間、結果の出力、出力形式を制御する。現在は0.5秒ごとの状態変化を計算し、1秒ごとの状況を出力させている。

type	number	byte	contains
real	1	4	distance from the entrance of the road
	2	4	velocity
	3	4	acceleration
	4	4	car spacing
	5	4	velocity with which driver desires to run
integer	1	1	road identification number
	2	1	car type
	3	1	direction to turn at coming cross
integer	1	2	signal number
	2	2	probability of straight going
	3	2	probability of left-turn
	4	2	probability of right turn

Table 1 Attributes of car transaction

ROAD(I,J)	:	J= road identification number
I = 1	:	road length
= 2	:	X-coordinate of the entrance point
= 3	:	Y-coordinate of the entrance point
= 4	:	road capacity
= 5	:	signal number
= 6	:	cross number

Table 2 Contains of matrix "road"

SIGNAL(I,J)	:	J= signal identification number
I = 1	:	signal status
= 2	:	signal offset
= 3	:	green interval
= 4	:	yellow interval
= 5	:	red interval
= 6	:	road number to which this signal is attached

Table 3 Contains of matrix "signal"

Ⅲ-2 モデル

簡単のために、Fig Ⅲ-1 のような道路配置でシミュレーションを行なった。Fig Ⅲ-2, Fig Ⅲ-3 がフローチャートの概念図であるが、この対応からも見られるように、道路配置とプログラムは1対1に対応している。従って複雑な道路網をシミュレートするには、それぞれに対応したブロックを連結するだけで済み、システムの拡張が容易にできる。

道路網は道路ブロックと交差点ブロックに別けられ、各ブロックはそれぞれ個々の番号で識別される。交差点における右左折は、道路ブロックに入ったときに、実測データに基づいて確率的に割りあてられる。道路ブロックにある車は前車の走行、信号及び進行方向により加減速を行なう。車の走行状態は次

のようにして決定される。

- 1) 基本的には車輛追隨理論による。
- 2) 右左折する車は交差点の手前の一定距離から減速する。
- 3) 道路ブロックの先頭車は追隨状態になると信号に従う。黄信号では交差点までの時間間隔により，進入，停止を決定する。



Fig. III-1 Road configuration

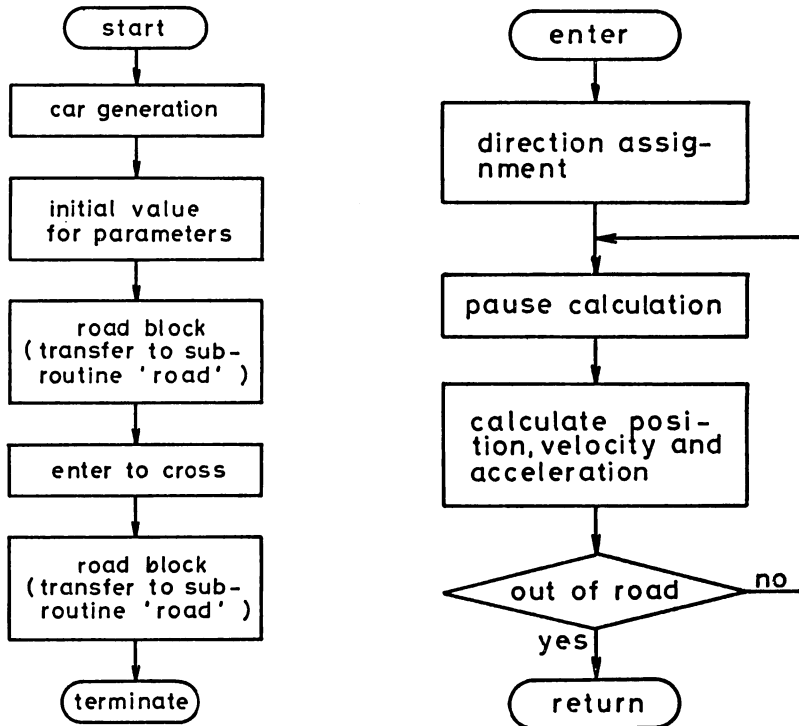


Fig. III-2 Flow chart of main part Fig. III-3 Flow chart of subroutine "road"

III-2-1 追隨理論

追隨理論によれば，走行車は自由走行車と追隨走行車に別けられる。2つの区別は先行車との車頭時間間隔により行なわれるが，本論での現状は普通車のみの走行を考えているので，車頭時間間隔が6秒以上のものは自由走行するものとする¹⁾。この場合，車の加速度は次式で与えられる。

$$\ddot{x}(t+\Delta t) = A_{fr} \frac{V_{des} - V(t)}{V_{des}} \quad (2-1)$$

V_{des} : 希望走行速度

追隨走行車の加速度に関しては種々のものが提唱されている³⁾。

$$\ddot{x}_{i+1}(t+\Delta t) = K \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{S} \quad (2-2)$$

S : 車間距離

シミュレーションの時間間隔が0.5秒であるので、この間には車は等加速運動するものとし、上式から与えられる加速度より、速度、位置の変化を計算し、これを各車輦について行なった後に時間を進めて行く。

走行パターンは(2-1)及び(2-2)式により左右される。従ってこの点を明らかにする必要がある。まず Fig III-1 の道路配置でのシミュレーションの1例を Fig III-4 に示す。縦軸は時間(単位:秒)、横軸は位置を示す。道路及び信号のパラメータを Table 4 に示す。左端より流入した車が、信号に従いつつ道路1から道路2へスムーズに移動している様子が示されている。

road			signal		
	number				
	1	2	number		
			1	2	
length(m)	200	200	0	0	0
capacity	40	40	60	60	60
			4	4	4
			30	60	60

Table 4 Parameters of calculation

a) 流入間隔

システム内に入る車は流入部から道路ブロックに進入するが、その流入時間間隔の変化による走行パターンの影響について調べる。Fig III-5は3秒毎に1台、Fig III-6は平均5秒、位相5のアーラン分布による流入である。道路ブロック2では、流入時の規則性が緩和されているが、まだその影響が見られる。従って流入部からの進入時間間隔は、適当な分布を持ったものの方が良い。平均値は同じで位相が異なるものの図を Fig III-7, Fig III-8 に示す。対象となる道路の実状により、平均値、位相を選択すればよい。以下の議論では、流入時間分布は平均5秒、位相5のアーラン分布を仮定する。

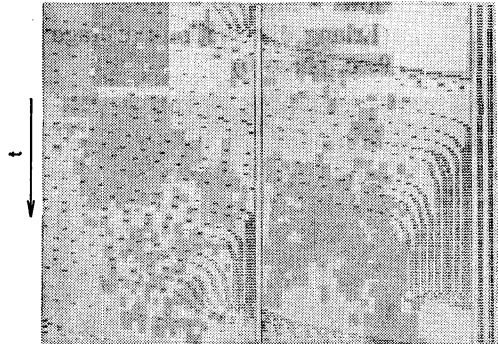


Fig. III-4 Running pattern in the road configuration shown in Fig. III-1

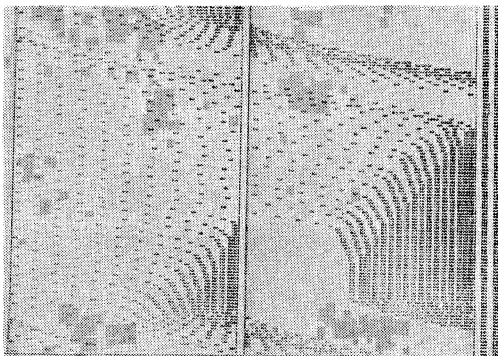


Fig. III-5 Running pattern in constant flow-in interval

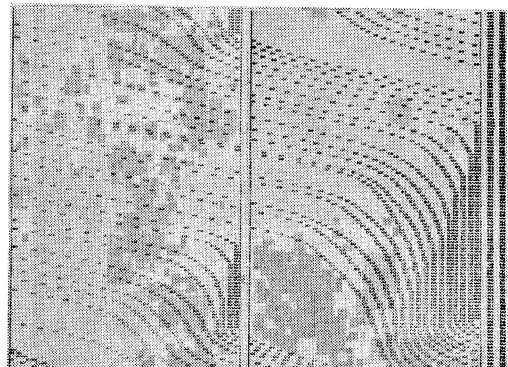


Fig. III-6 Running pattern in distributed flow-in interval (Erlang distribution : average 5sec, phase 5)

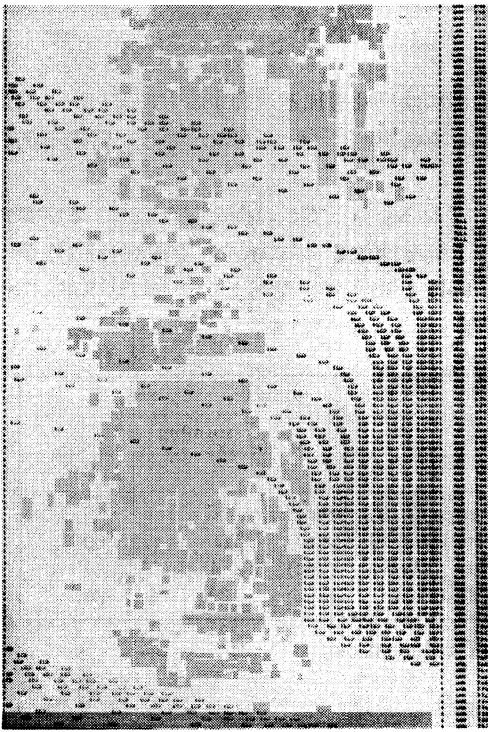


Fig. III-7 Running pattern in distributed flow-in interval (Erlang distribution : average 9sec, phase 6)

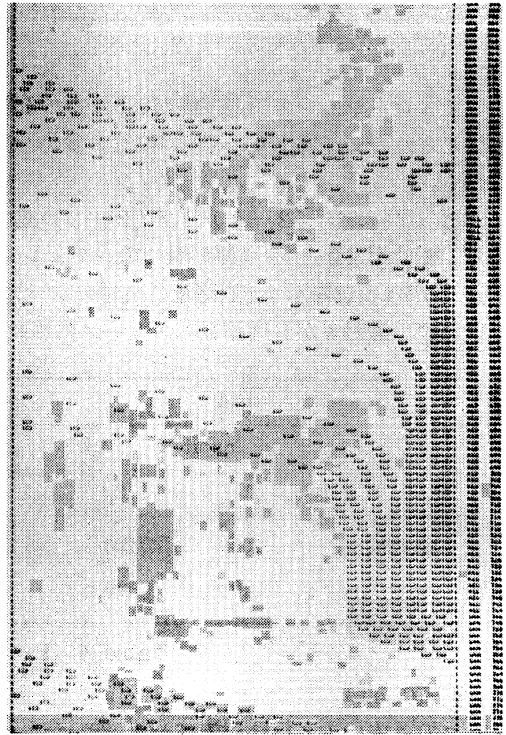


Fig. III-8 Running pattern in distributed flow-in interval (Erlang distribution : average 5sec, phase 4)

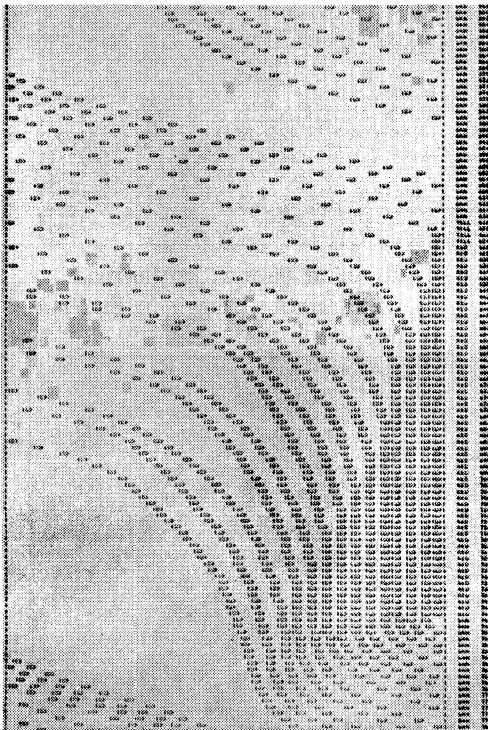


Fig. III-9 Running pattern ($A_{fr}=0.25g$, $K=36km/h$)

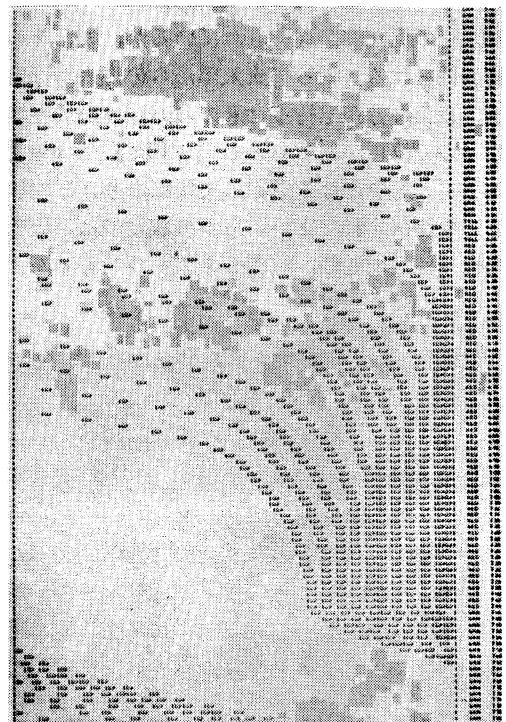


Fig. III-10 Running pattern ($\alpha=0.2g$)

b) 追従特性

(2-1), (2-2) 式で $A_{fr}=0.2g$, $K=36\text{km/h}$ としたときのパターンを Fig III-9 に示す。図に見られるように減速, 加速時共にその時期が早く, 加速度の大きさも実際よりも小さい。そこで (2-2) 式を修正して次式

$$\ddot{x}_{i+1}(t+\Delta t) = K \frac{\dot{x}_i(t) + \dot{x}_{i+1}(t)}{S} + \alpha \quad (2-3)$$

で $\alpha=0.2g, 0.5g, 0.6g$ としたものと比較を行なう。Fig III-10, Fig III-11, Fig III-12 がそれぞれ $\alpha=0.2g, 0.5g, 0.6g$ に対応する。比較から解るように, 定数項 α が大きくなる程, 加速度の絶対値も増加し, より現実的になっている。しかしながら, α が大き過ぎると, 前方信号が青の場合の走行において, 車間距離が縮まり過ぎる傾向が現われる。従って (2-2) 式よりも (2-3) 式の方が良いが, 付加する項 α の値は $0.2g$ 以上は不適である。

次に (2-3) 式の係数 K による変化を調べる。便宜的に $\alpha=0.5g$ とする。 K を 30, 40, 50, 60 としたものが Fig III-13, III-14, III-15, III-16 である。 K が大きくなる程停止時の加速度が小さくなっており, しかも K が 40 以上では後方走行車の加速度が, 前方走行車のそれよりも小さくなっており, よりゆるやかな停止を示している。これは実際の走行パターンに合致するものである。前方信号が青の場合の走行に関しても, K が小さいもの程車間距離が小さくなり, 接近して走行するようになる。この点からも K が 50 ないし 60 が今の場合適当である。

これまでは, いずれも加速度は周囲の状況により一意的に定まるものであり, いわば決定論的であったが, 実際の車の走行においては, 運転者の個性及び心理的な要素がかなりの比重を占めていると思われる。これ等の要素を定量的に表現するのは現在では不可能である。従ってここでは, これらの要素が, (2-3) 式によって与えられる加速度に一定の確率分布を持たせることにより表現されると考える。Fig III-17 は分布を持たないパターンであり, Fig III-18 から Fig III-20 までは (2-3) 式で与えられる速度を平均値として, 異なる標準偏差を持たせたものである。この例では加速度に分布を持たせることは加速度の絶対値を大きくする方向に作用している。

これまで見て来たように, 追従走行車の加速度を与える式 (2-3) は, パラメータの種々の組み合わせや多少の修正を加えることにより, 種々の走行パターンを表現できることが明らかとなった。しかしながら, 改良すべき点も残されている。例えば, 信号待ちからの発進に際して先頭車群が集中する傾向がある。停止からの発進に対しては, 今のところ特別な考慮は行なっていないが, 実測データによるとかなり特殊な加速度変化を示しているので, この点も合せて順次補正していかなければならない。

IV. 結 論

作成したモデルは, 実測データとの対比からも有効に働くことが判明した。今後はこれを用いて種々のシミュレーションを行なう予定である。本学近辺の交通流を解析するのが目的であるが, そのためにはモデルの拡張が必要である。現在完成しているのは一車線道路のみであり, 交差点も信号を持つだけで車の分岐のない簡単なものである。今後は多車線道路及び種々の形状の交差点のモデルを作る必要がある。

参 考 文 献

- 1) 猪瀬等; 「道路交通管制」 (産業図書)
- 2) D. Gibson: Trans. Eng. (Dec. 1977)
- 3) D. Gaizis et al: Opens Res., V7, P499 (1959)

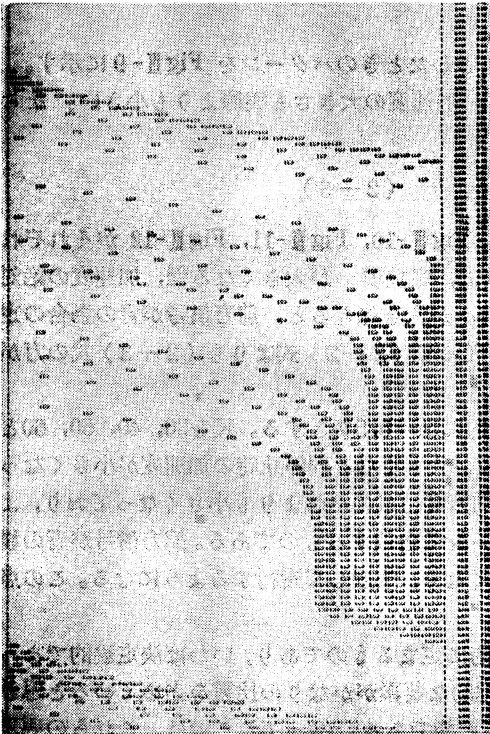


Fig. III -11 Running pattern ($\alpha=0.5g$)

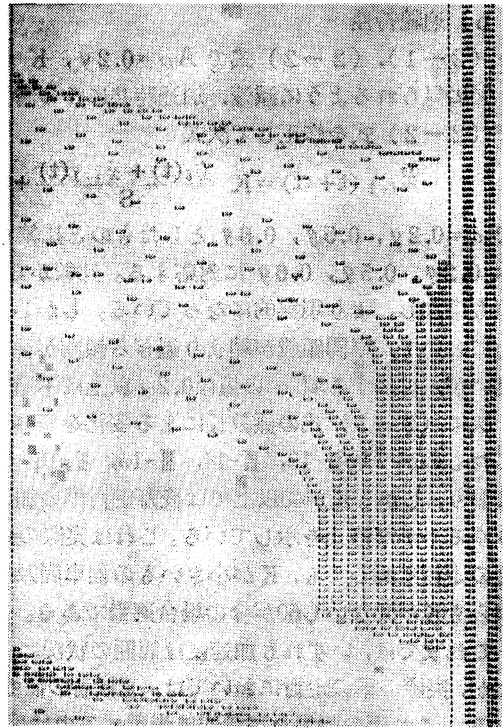


Fig. III -12 Running pattern ($\alpha=0.6g$)

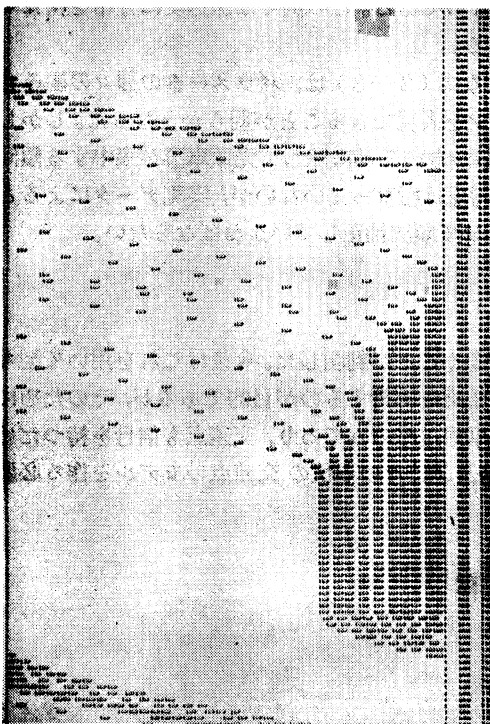


Fig. III -13 Running pattern ($K=30\text{km/h}$)

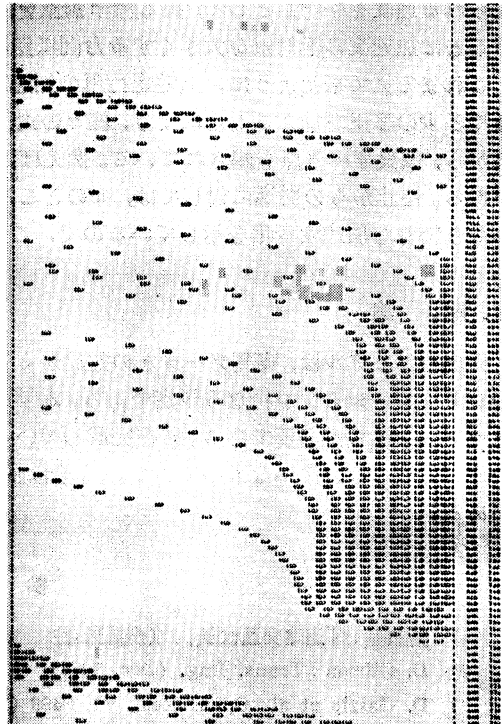


Fig. III -14 Running pattern ($K=40\text{km/h}$)

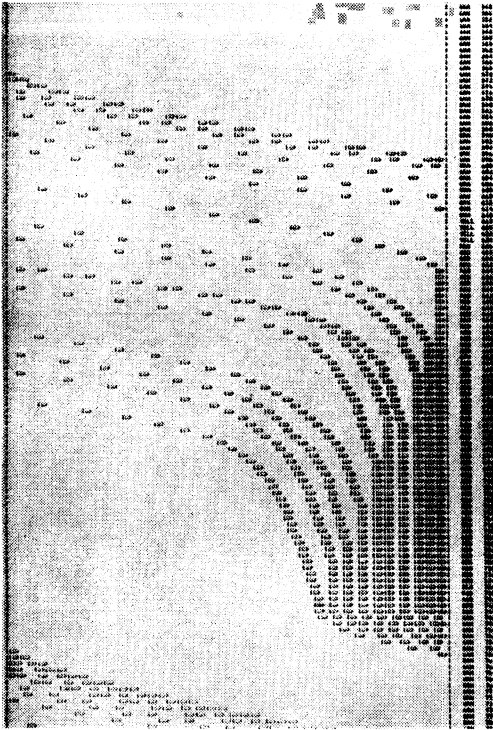


Fig. III -15 Running pattern (K=50km/h)

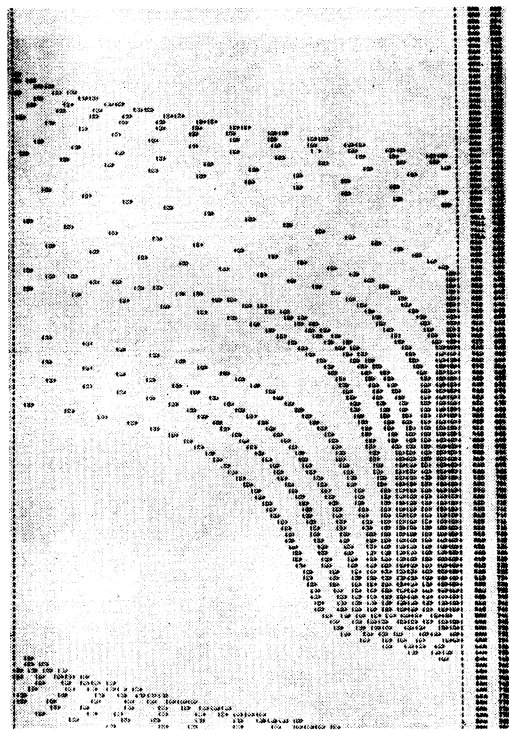


Fig. III -16 Running pattern (K=60km/h)

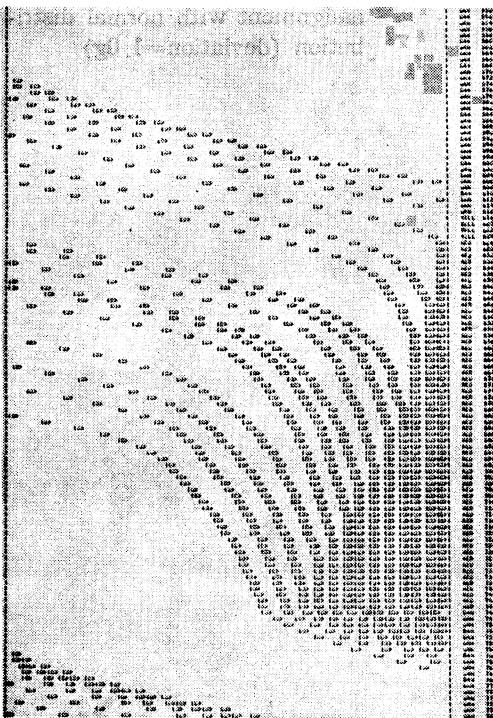


Fig. III -17 Running pattern in acceleration assignment without distribution

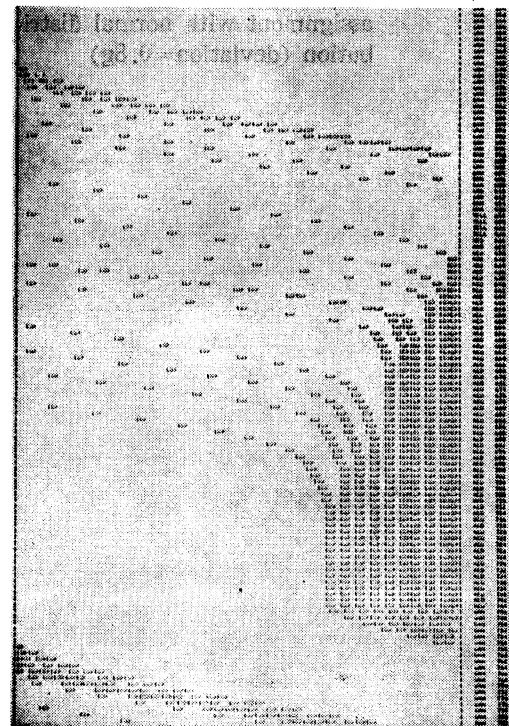


Fig. III -18 Running pattern in acceleration assignment with normal distribution (deviation=0.5g)

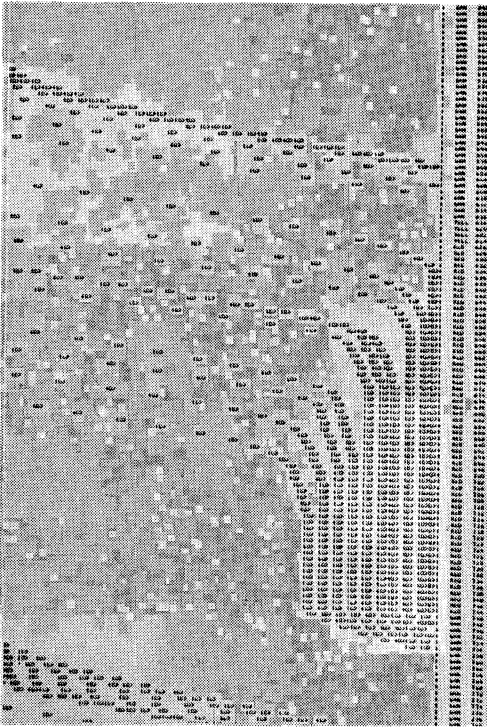


Fig. III-19 Running pattern in acceleration assignment with normal distribution (deviation=0.8g)

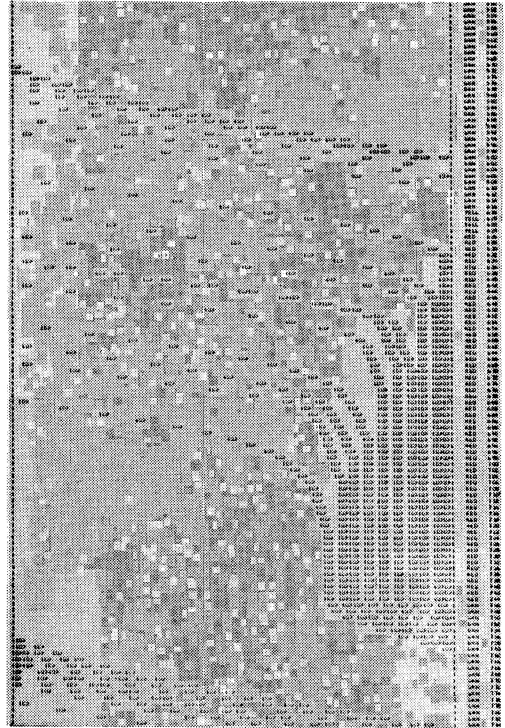


Fig. III-20 Running pattern in acceleration assignment with normal distribution (deviation=1.0g)