IV〜8

追い越し現象のシミュレーション

京都大学工学部　正員　米谷栄二
〃　○学生員　住田陸快

はじめに

道路上を走行する車は各運転者の希望速度が異なる上に車種により走行性能に相違があるのでわれわれが通常みかける追い越し現象が発生する。また道路上に静止した障害物があって車線を遮断しているような場合も広義の追い越し現象とみられる。ここではこれらの追い越し現象についてトラフィックシミュレーションをおこない解析を進める。一般にシミュレーションを実施することの利便は実際の対象システムについての観測や実験をおこなうよりも簡便で安価であり，数学的に理論式で解明されにくい問題についても適当なシミュレーションによって十分な結果が期待されうる点にあろう。

1. システムの構成要素

本研究であつかう追い越し現象のシミュレーションに対しそのシステムを構成する重要な要素について挙げる。

(1) 道路条件

ここでは1車線ずつを対向交通に使用している2車線の道路を考える。

(2) 交通流特性

つぎに実際の車の走行性状をいかにモデル化してシミュレーションを進めるかが重要であり，交通流特性としてまず交通量λ(台/時)および車の走行を確率現象として示す車頭（時間）間隔の分布を与えねばならない。車の到着がポアッソン分布にしたがうとき，車頭間隔の分布は指数分布となる。すなわちその確率密度関数を$a(t)$，交通量をλとすると，

$$a(t)=\lambda\cdot e^{-\lambda t} \tag{1}$$

で与えられる。さらに一般に実際の交通流における車頭間隔の分布として，それに最も近い分布をみつけることが望ましい。たとえば位相kのアーラン分布とよばれる次式の分布が考えられる。

$$(k\lambda)^k\cdot t^{k-1}\cdot e^{-k\lambda t}/(k-1)! \tag{2}$$

(3) 追い越し条件

交通流特性が定まるとその交通流における追い越し現象そのものの条件を規定せねばならない。2車線道路において一方の車線を走行する車相互間に追い越しが生じる場合，あるいは一方の車線がなんらかの障害物によって遮断された場合の追い越しが考えられる。いずれにせよいくつかの要因によって定まる安全追い越し時間τ(秒)が規定されねばならない。追い越そうとする車が低速車あるいは障害物に追いついたとき対向交通流においてτ以上の車頭間隔があれば追い越し可能であり，τ以下であればτ以上の車頭間隔をみつけるまで追従待ちが生じる。また交通量がかなり大きくなると，追従する車は1台とはかぎらず何台かの待ち行列が生じる。

2. 追い越し特性の解析

以上のようにシステム構成の要素として種々の場合が考えられるが，これらの適当な組み合わせによっていろいろなシステムができる。それぞれのシステムについてのシミュレーションを遂行し，つぎのような追い越し特性について解析する。

(1) 単位時間あたりの追い越し回数および台数

(2) 平均追従待ち時間　　(3) 平均追従車台数　　など

3. 計算例

さてつぎに簡単な例として，2車線道路で1車線が静止したなんらかの障害物により遮断されている場合の追い越し問題で平均待ち時間を求めてみよう。対向車線の車頭間隔分布は式(1)の指数分布にしたがい，$\lambda = 500$（台/時），$\tau = 8.0$（秒）とする。式(1)により車頭間隔の累積分布関数は，

$$A(t) = \int_0^t \lambda \cdot e^{-\lambda t}\, dt = 1 - e^{-\lambda t} \qquad (3)$$

で与えられる。したがって式(3)で$A(t)$に確率としての一様乱数を与えて逆に車頭間隔を求めうる。すなわち一様乱数をP_i，車頭間隔をt_i（秒）とすれば，

$$t_i = -\log_e(1 - P_i)/\lambda \qquad (4)$$

つぎに式(4)によって求めた車頭間隔列t_iから任意の車頭間隔t_0をとり，$t_0 \geqq \tau$ならば待ち時間0，$t_0 < \tau$ならばつぎのt_1について$t_1 \geqq \tau$を比較し，$t_1 \geqq \tau$ならば待ち時間はt_0，$t_1 < \tau$ならばさらにt_2について先と同じ検討を加える。このような操作を100個の場合について計算した待ち時間の頻度分布および待ち時間が0以上の場合の超過頻度を表-1に示す。これを図示すると図-1の破線のようになる。この破線によく合う指数関数を，

$$0.66 \cdot e^{-0.098t} \qquad (5)$$

とするとその理論値は表-1および図-1の実線で示される。表-1に示すような待ち時間0の確率と式(5)とから待ち時間の密度関数は，

$$0.34 \cdot \delta(t) + 0.66 \times 0.098\, e^{-0.098t} \qquad (6)$$

となる。したがって平均待ち時間は式(6)にtをかけて0から∞まで積分して，

$$\int_0^\infty (0.34\delta(t) \cdot t + 0.66 \times 0.098 \cdot t \cdot e^{-0.098t})\, dt = 0.66/0.098 = 6.7\ (\text{秒})$$

一様乱数および結果の妥当性などの検討，さらに別のシステムに関するシミュレーションについては講演当日に発表する。

表-1 待ち時間の頻度分布表

待ち時間(t秒)	頻度	相対頻度	超過頻度	理論値
$t=0$	34	0.34		
$0<t<5$	21	0.21	0.66	0.66
$5 \leqq t < 10$	23	0.23	0.45	0.409
$10 \leqq t < 15$	7	0.07	0.22	0.255
$15 \leqq t < 20$	5	0.05	0.15	0.158
$20 \leqq t < 25$	2	0.02	0.10	0.099
$25 \leqq t < 30$	2	0.02	0.08	0.059
$30 \leqq t < 35$	3	0.03	0.06	0.038
$35 \leqq t < 40$	1	0.01	0.03	0.024
$40 \leqq t < 45$	0	0.00	0.02	0.015
$45 \leqq t < 50$	2	0.02	0.02	0.009
$50 \leqq t$	0	0.00	0.00	0.005
計	100	1.00		

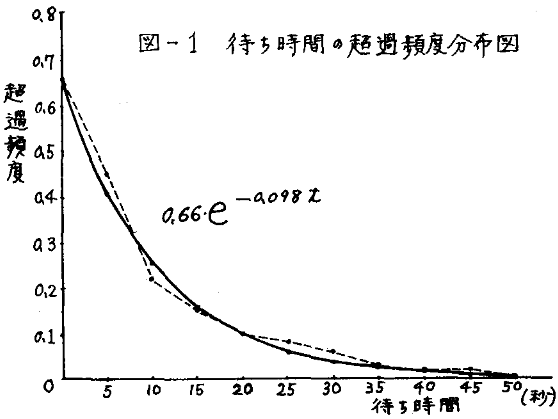

図-1 待ち時間の超過頻度分布図