

車頭間隔分布が渋滞流に与える影響のシミュレーション分析*

A Study on the Influence of Headway Distributions on Congested Traffic Flows using a Simulation Model

早坂 毅**

塚本 直幸***

By Takeshi HAYASAKA, Naoyuki TSUKAMOTO

1. はじめに

道路交通流は、個々の車両が比較的自由に走行できる自由流領域と、車両相互間の干渉により走行がかなり束縛される渋滞流領域とに大別される。特に、自由流領域から渋滞流領域に遷移する臨界的な交通流においては、道路交通流におけるなんらかの確率的に微小な攪乱要因によって、交通流全体が影響を受けやすく、速度低下等の大きな現象変化となって現れることはよく知られた事実である。交通流を平均的あるいはマクロ的に表現する指標として、交通量（交通流率）、平均速度、密度と言った指標が用いられ、これらの指標間の関係についてはマクロ的には知られているものの、微小な攪乱に起因した現象を記述するには十分でない面がある。

交通流を構成する個々の車両のレベルにまで視点をミクロにすれば、交通現象は離散的な確率現象であり、そのため上記のような現象の解析には個々の車両の挙動の把握が必要である。車両個々の動きを表現するモデルの代表として追従理論がある。周知のように追従理論は、遅れのある常微分方程式の形で表されるため、交通流に関して単純な仮定を置かないと、解析的にこれを解くのは困難である。そのため、追従理論においては、定常的な走行を続ける流れに生じた何らかの乱れが、どのように後方に伝播するか、と言った交通流の安定性の問題に興味の中心が置かれている。

しかし、車両挙動モデルの基本的仮定として追従理論は強力なものと思われるし、個々の車両間の追

従式そのものは単純である。そこで、追従式をベースとしてモデルを構築し、走行車両の速度分布・車頭間隔分布を与件として、各種の確率的な攪乱現象の影響をシミュレートできれば、都市部の道路での確率的な交通流現象に関する有益な分析結果が得られることが期待できる。

2. シミュレーション・モデルの概要¹⁾

(1) アルゴリズム

シミュレーションの全体アルゴリズムを図-1に示す。シミュレーション対象時間の分割進行単位（シミュレーション・クロック）毎に、対象区間内にある全ての車両の挙動を、追従ルール・車線変更ルール等のシミュレーション・ルールに応じてくり返し計算する、と言うものである。

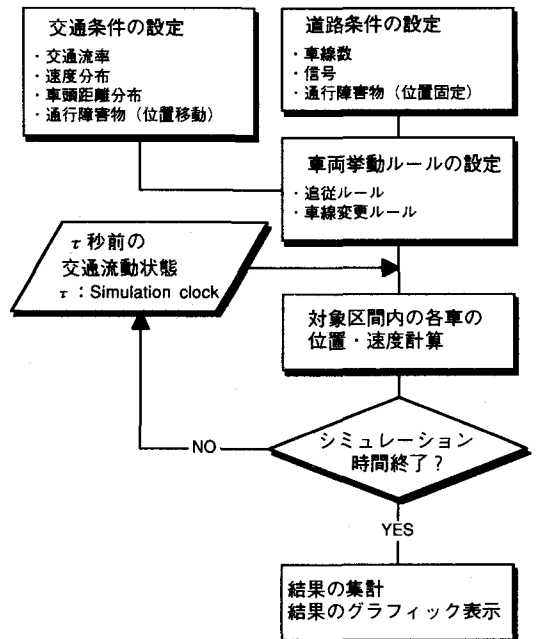


図-1 シミュレーションの流れ

* キーワーズ：自動車交通行動、交通流

** 正会員、大阪府池田土木事務所

（大阪府池田市城南 1-1-1、TEL 0727-52-4111、
FAX 0727-53-6604）

*** 正会員、工博、大阪産業大学工学部土木工学科

（大阪府大東市中垣内 3-1-1、TEL 0720-75-3001、
FAX 0720-75-5044）

現在の所、車両の挙動ルールは次の2つである。

■追従ルール

追従式には各種のものが提案されており、本モデルでは原理的にはどのようなものも設定可能であるが、今回は反応の遅れを考慮したもののうち最も単純な式 (1) でシミュレートしている。

$$\dot{x}_{n+1}(t+T) = \lambda[\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)] \quad (1)$$

$x_n(t)$: n台目の車両の時刻tでの位置
 λ : 前車からの刺激に反応する強さ
 T : 反応遅れ時間

実際のプログラム中では、式 (1) を解いた式 (2) を用いている。式 (2) は、速度はマイナスにならない、最大密度 (じゅずつなぎ交通) で速度はゼロになる、ある定められた速度以上にはならない、と言う3つの条件のもとで求めたものである。

$$v(l,n,t) = \min[\lambda[x(l,n-1,t-T) - x(l,n,t-T)] - \lambda/K, v_{\max}(l,n,t)] \quad (2)$$

$v(l,n,t)$: 車線l、時刻tにおけるn台目の車の速度
 $v_{\max}(l,n,t)$: 希望速度 (最大速度)
 K : 最大密度

■車線変更ルール

本シミュレーション・モデルには、希望速度と実際の走行速度との差と、そのような走行を強いられている継続時間との積で定まる不満度が、ある定められた限界を越えた時、周囲の流動状況との関連で車線変更の意思決定を行う、とする車線変更ルールを組み込んでいる。これは個々の車両の希望速度のばらつきによる判断の違いを反映させるためである。

(2) システムの特徴

シミュレーション・システムとしての特徴は次の2点である。

■シミュレーション条件・ルールの設定

これらについては、可能な限り分析対象に合わせて自由に設定できることを目指している。

図-1に示したようにシミュレーション条件は、道路条件と交通条件に大別している。交通流動特性にあわせて、ある分布特性を持った乱数を発生させ、あるいはテーブル形式で希望速度分布や車頭間隔分布を得ることが可能である。

また車両挙動ルールについても、自由に変更可能としている。追従式の違いにより、交通流動全体の

挙動が大きく変化することが知られているが⁹⁾、未だ開発途上にある本システムをより適合性のあるものとするためにも、シミュレーション・ルールを取り替つつ結果が検討できる構成を持たせている。

■結果のアニメーション表現

アニメーションはシミュレーション・クロック単位毎にセル画を作成し、これを連続的に表示することで実現している。交通流動をアニメーション表現することで、流動状況の把握が容易となる。

シミュレーション・システムは、サーバー (IBM RS/6000 Model 590) で計算を行い、クライアント (Apple Macintosh Quadra 950) で条件設定入力・アニメーションその他の結果表示を行う構成である。現在のシステム構成・プログラム構成のもとでは初期条件により変動はあるが、おおむね片側2車線、交通流率2000台/時間、区間長5km、シミュレート時間30分と言う対象を、約5分程度で計算可能である。これ以上の対象は、今の所記憶容量の制約で計算できない。

3. ケーススタディ

表-1に示す条件でシミュレーションを実施した。

表-1 シミュレーション条件

条件項目	設定内容
車線数	片側1車線 (追い越しは不可能)
区間長	1km
車頭距離分布	等間隔(10m)
	モード35mの分布
希望速度分布	全て一律
	モード15m/sの分布
流れの攪乱要因	速度5m/sに低下するようブレーキング

なお式 (2) において、 $T=1$ 、 $\lambda=0.5$ としている。

(1) 等間隔・等速度の場合

車頭間隔は一定で20m、希望速度も一律に10m/sの場合のシミュレーション結果を、図-2に示す。これ

は、ある車が地点500m付近で2秒間ブレーキングした場合、それが時間の経過とともに交通流動全体にどのような影響を及ぼすかを見たものである。

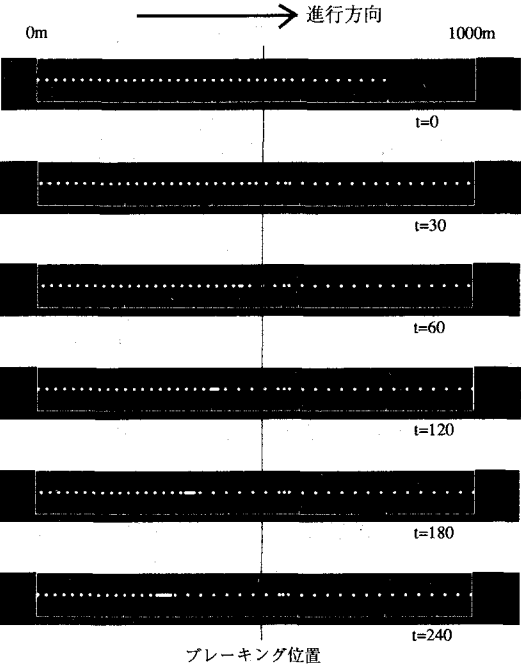


図-2 交通流動状況の変化

わずか2秒間のブレーキングであるが、車頭間隔20mと言う高い密度の流れであるため後方の車列が乱され、その乱れは長さを増加させながら交通流の後方(上流)に移動していく。同時に、最初ブレーキングした箇所では、ほとんどその位置が固定されたまゝいつまでも乱れが残る。

以上のことは各車の位置と走行速度の関係として図示すれば、より明瞭である。これを図-3に示す。図-3の縦軸は瞬間の地点速度、横軸は区間位置座標である。全体の速度状況が見えるように各点を折れ線でつないでいる。また経過時間は図-2に対応している。

次に図-4は、車頭間隔は30m、ブレーキングを4秒としたケースである。車頭間隔が長くなったため、後方への影響は現れない。しかしブレーキング時間が伸びた分、走行を乱される車の量が増加し乱れたままの車群が走行していくため、交通流全体として見れば乱れが前方に移動している。追従理論では後方への乱れの伝播が主な対象であるが、このように前方に伝播する乱れもあることがわかる。

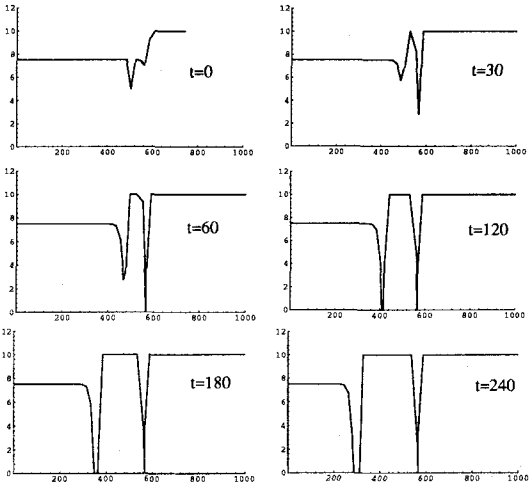


図-3 地点速度の変化
(車頭間隔20m、ブレーキング2秒)

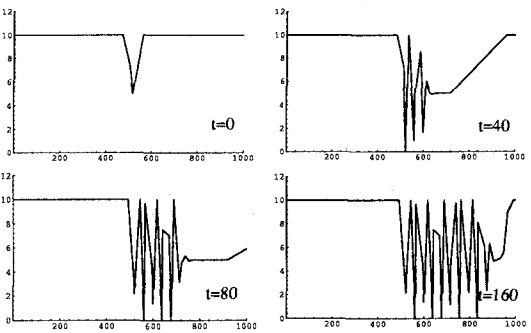


図-4 地点速度の変化
(車頭間隔30m、ブレーキング4秒)

車頭間隔が40mの場合には、ブレーキング4秒ではほとんど影響は現れなかった。ブレーキングを10秒とすると流れはやや乱れるが、それも1、2分の間に解消する。

図-5は車頭間隔20mの場合に、800m地点で1秒間のブレーキング、その10秒後に500m地点で2秒間のブレーキングを行った複合的なケースである。800m地点から後方への乱れと500m地点からの前方への乱れが混ざって複雑な様相を呈している。500m地点で生じた後方への乱れは、図-3と同様長さを拡大させながら伝播していく。

なお、図-3、4、5いずれとも、シミュレーションを15分後まで続けても位置を固定した乱れは解消しなかった。今回のモデルでは車両の加減速性能を考慮していないため、極端な動きが見られるが、実

際の走行では車頭間隔を調整するフィードバック・ループがあり、これを組み込めば位置固定の乱れも徐々に解消するものと思われる。今後の課題である。

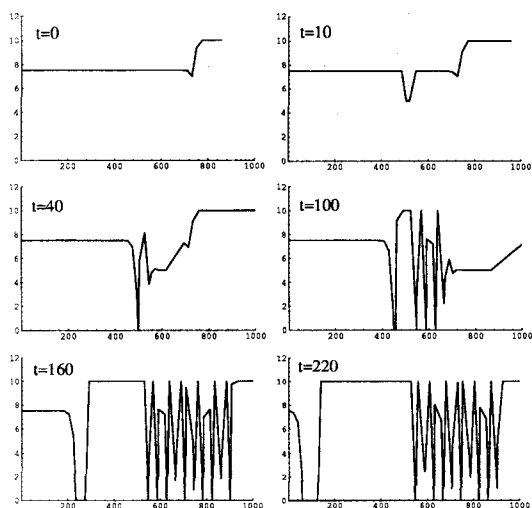


図-5 地点速度の変化
(車頭間隔 20m、ブレーキング 1秒と2秒)

(2) 車頭間隔・希望速度が分布する場合

等間隔・等速度での分析結果より予想されるように、車頭間隔・希望速度に分布がある場合はかなり複雑な流動状況となる。ここでは一例として、各々モード 35m および 15m/s を持つ車頭間隔分布、希望速度分布を仮定してシミュレートした結果を示す。この分布は本シミュレーション作成時に実測により得られたもので³⁾、値の小さな方に傾斜がきつく、値の大きな方に傾斜の緩いものである。

等間隔・等速度のケースと同様、500m 地点で4秒間のブレーキングがあるものとした。結果を図-6に示す。500m 近辺で位置固定の乱れがある他、それ以外の箇所でも偶然的原因による乱れが生じている。時間的経過に伴う傾向は明確ではない。

また、図-7にある一時点での車両の走行状況を示すが、いくつかの車群ができています。

4. 結論と今後の課題

本シミュレーション・モデルは、解析的な方法では取り扱いが困難な事項について、構造は単純であるが力づくの繰り返し計算を行い、その結果から知見を得ようとするものである。ここでは、自由流領域から渋滞流領域に遷移する臨界的な交通流を対象

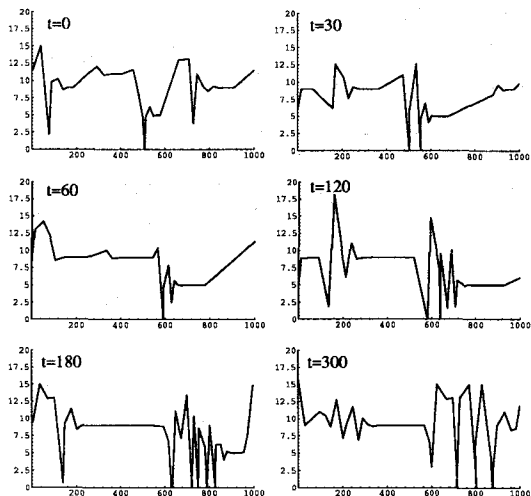


図-6 地点速度の変化
(車頭間隔・希望速度が分布を持つ場合)



図-7 車両の走行状況 (図-6 と同じケース)

として、極めて微小な攪乱要因が交通流にもたらす影響について分析し、車頭間隔長が大きな要因となっていることを明らかにした。

車頭間隔・希望速度が分布を持つ場合についても検討したが、臨界的交通流が微妙な変動特性を持つものでは、少数の例の試算ではもとより明確な結論は得られない。しかし、何度でも繰り返して計算可能と言うシミュレーション・モデルの特徴を生かして、多数の計算例を収集し統計的処理を行うことで、分布の形や平均値・分散等の分布パラメータと渋滞要因・渋滞特性の関係を見出すことは可能と思われる。

さらに、車線変更ルールを用いて片側複数車線を持つ道路交通流についてもシミュレーションを実施し、道路特性と渋滞要因・渋滞特性の関連性を明らかにして行く必要がある。

参考文献

- 1) 塚本、早坂:「交通流動アニメーションモデルの開発」、第14回交通工学研究発表会論文集、pp.53-56、1994
- 2) 佐々木綱監修、飯田恭敬編著:「交通工学」、国民科学社、pp.143-149、1992
- 3) 早坂、塚本、天野:「微視的交通流動シミュレーション・モデルの開発」、土木学会第49回年次学術講演会概要集第4部、pp.696-697、1994