

交通流シミュレーションモデル「CONTRAM」の 車両移動ロジックに関する分析

A Study on the Vehicle Motion Logic of CONTRAM

小根山 裕之*・岡田 知朗**・桑原 雅夫*・吉井 稔雄*
Hiroyuki ONEYAMA, Tomoaki OKADA, Masao KUWAHARA and Toshio YOSHII

1. はじめに

近年、道路ネットワークの整備や交通規制の実施による交通流の変化の予測や政策の評価を行うために、経路選択機能を内包化した動的交通流シミュレーションモデルの必要性が高まり、内外各方面で研究開発が盛んに行われている。本稿ではイギリスで開発された代表的交通流シミュレーションモデルである CONTRAM のバージョン 5 を対象にして、モデルの基本的特徴を紹介し交通流の挙動や経路選択機能に着目したモデルの分析を行うとともに、CONTRAM のモデル上の問題点を指摘する。

2. CONTRAM の概要¹⁾

CONTRAM は1978年にイギリスの TRRL で提案されたモデルで、信号交差点を含む一般街路を対象とした交通状況のダイナミックな変化に反応する、ドライバーの経路選択を考慮したシミュレーションモデルであり、現在バージョン 5 まで発表されている。

道路網は、ノードとリンクからなるネットワークによって表現され、シミュレーション対象時間はタイムスライスという15~30分程度の時間間隔に分割される。タイムスライスは、OD 交通量をはじめその他シミュレーション条件の設定や、待ち時間の計算、出力結果の集計単位となる。

リンクコストは旅行時間として表現され、フリーフローの旅行時間と交差点による遅れ時間と過飽和リンクでの遅れ時間から構成される。交差点での遅れ時間としては待ち行列による遅れ時間、信号赤時間による遅れ時間、ランダム遅れ時間等が考慮される。過飽和リンクで発生した待ち行列における遅れ時間は、確率的待ち行列理論に基づいて計算される。

*東京大学生産技術研究所 第5部

**首都高速道路公団

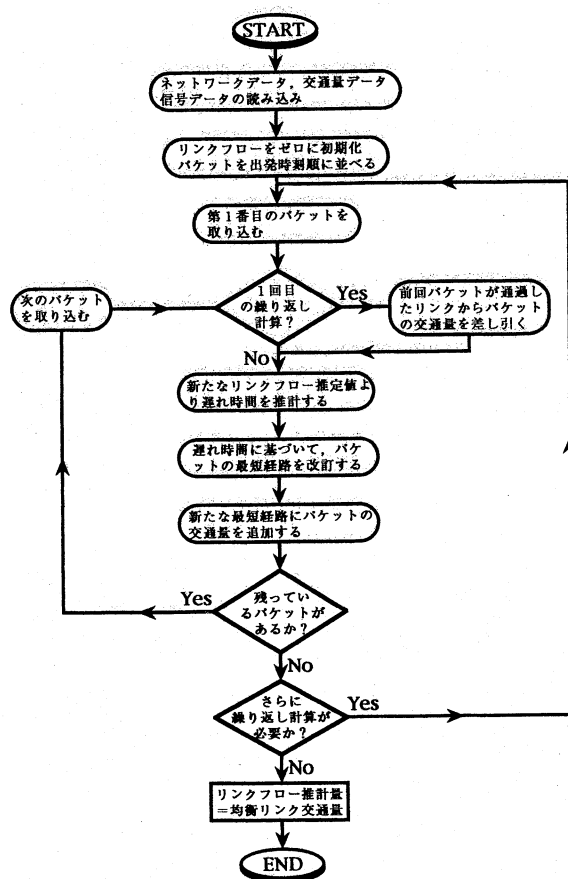


図1 モデルの計算手順

交通流の表現方法としてパケットという10台程度の車を1単位とするものを考える。あるパケットに属する車は、同じODを持ち、同じ旅行時間を経験し、同じ経路を取る。CONTRAMではこのパケットを1つずつ最短時間経路に配分し、リンクコストを改訂し次のパケットを流すというプロセスをすべてのパケットについて数回繰り返し、

最終的に動的な利用者均衡交通状況を再現することを試みる。モデルの実際の計算は図1の手順で行われ、収束状態が得られるまで繰り返し計算される。

3. パケットの挙動に着目したモデルの留意点と問題点

I. パケットの生成・移動の方法と遅れ時間の評価

パケットはネットワーク上の全 OD ペアについてデータとして与えられた交通量に基づいて適当な車頭間隔をもって生成され、出発時刻の早い順に1つずつOノードからネットワーク上に導入される。Oノードの出発時刻は秒単位で記憶され、2回目以降の繰り返し計算の際も同じ順番で出発する。さて、このパケットは現在のリンク交通量によりリンク旅行時間を評価し、最短経路を選択してDノードまで流される。ここで、リンク交通量は1タイムスライスを単位としたリンク終端への到着台数として表現される。その後パケットが通過したリンクについて、リンク終端に到着したタイムスライスのリンク交通量にパケットの台数を加えることでリンク交通量を改訂する。また、パケットは通過経路と時刻を記憶する。この際、通過リンクの到着時刻や出発時刻の評価は秒単位で行っているが、これらはOノードの出発時刻から計算で求めることができるので記憶する必要はなく、通過するリンク番号、リンク終端に到着したタイムスライス、またリンク終端から出発したタイムスライスを記憶する。これらの計算を全ODペアの全パケットについて行う。なお、2回目以降の繰り返し計算のときは、同一パケットの交通量をダブルカ

研究速報
ウントしないようにパケットがOノードを出発する前に前回の繰り返し計算において通ったリンクの交通量からパケットの台数を差し引いてから計算を行う。

ここで問題となるのは、待ち行列長や遅れ時間の評価においてタイムスライス単位で平均化されたリンク交通量を用いるため、パケット単位で見ると、シミュレーションで表れる任意の時間断面のパケットの挙動、待ち行列やパケット間の位置関係などは考慮されておらず、待ち行列長や遅れ時間を正確に評価できていない場合があるということである。評価方法についてはTaylor²⁾に詳しいが、ここでは待ち行列台数と遅れ時間の評価の一例を図2を用いて示す。これは、信号等で制御されていないリンク終端部の1タイムスライスの累積交通量を表し、タイムスライスの先頭ではすでに L_0 の待ち行列が生じているものとする。このとき、パケットのリンク終端への到着は上流リンクの状態によってのみ与えられ、この例ではパケットの累積到着交通量曲線は $A(t)$ のように表されるものとする。このとき当該タイムスライス内では常に待ち行列が存在するため、リンク容量がタイムスライス内で変化しないと仮定すると、理論的には待ち行列からの出発は直線 $D(t)$ のように表される。ここで時刻 t に到着したパケットに着目すると、グラフより待ち行列台数は L_1 、遅れ時間は d_1 と読みとれる。ところがCONTRAMでは累積到着交通量曲線として $A(t)$ をタイムスライスで平均化した直線 $\bar{A}(t)$ を用いて計算する。したがって時刻 t に到着したパケットの待ち行列台数は L_2 、遅れ時間は d_2 となり、それぞれタイムスライスで平均化しない場合より長く評価される。同じように他の時刻では逆に短く評価される場合がある。

このように、パケットの移動は、タイムスライス単位で平均化された流入率と流出率によって評価された遅れ時間に基づいていることに留意すべきである。

II. 流率に関する問題点

前節でも述べたとおり、タイムスライス内で短期的にリンクの容量以上の流率でパケットが到着してもタイムスライス内で平均して過飽和状態でなければ待ち行列ができない。逆に言うと短期的には容量を超える出発率でパケットが出発する場合がある。例として信号等で制御されていないリンクの終端部で1タイムスライス間の累積交通量が図3の $A(t)$ であるような場合を考える。はじめの時点で待ち行列はないが、パケットがタイムスライスの途中までは容量を上回る到着率で到着するため、本来は渋滞が発生し、 $D(t)$ のように容量限界の出発率で出発することとなり、時刻 t では待ち行列台数 L_1 、遅れ時間 d_1 となる。ところがCONTRAMでは到着率がタイムスライスで平均化さ

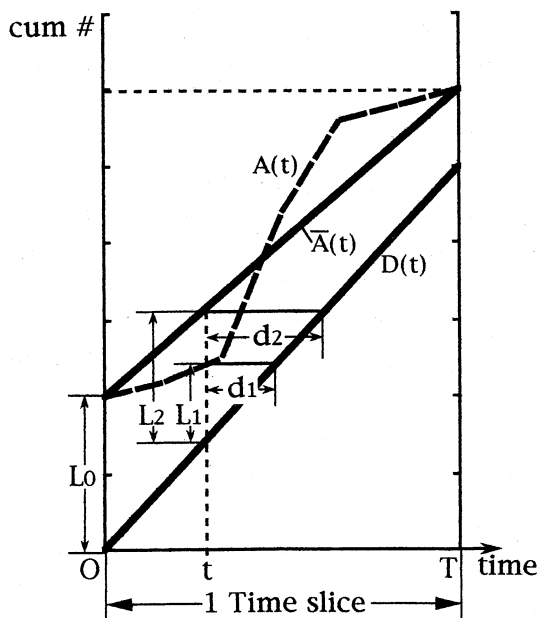


図2 待ち行列台数と遅れ時間の評価の一例

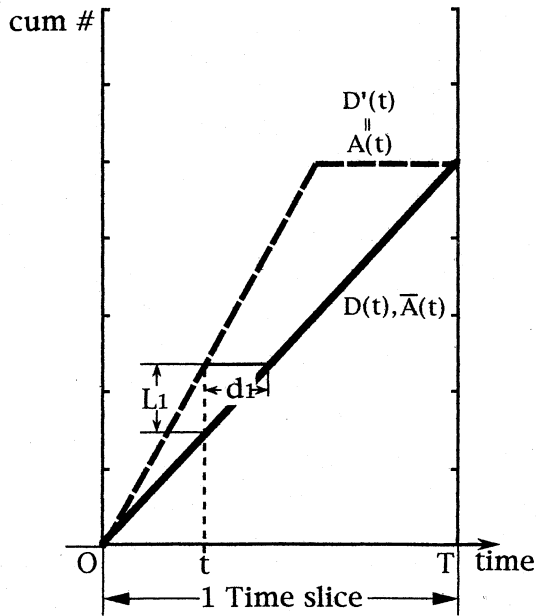


図3 流率の管理が不十分な例

れるため累積到着交通量は $\bar{A}(t)$ となり、出発の $D(t)$ と重なるので、このタイムスライスでは渋滞は起きないと判断される。さらに、実際にパケットは渋滞なしでこのリンクの末端を通過するので累積出発交通量は到着交通量の $A(t)$ と同じ $D'(t)$ となり、パケットは容量を超える流率で出発することになり、遅れ時間の評価とパケットの移動が整合していない。

III. バックブロッキングの取り扱い方法とその問題点

リンクが車で満たされると、そのリンクの上流のリンクからの車の進入が阻害され、上流リンクの容量の減少が生ずる。この現象をバックブロッキング（先づまり現象）と呼ぶ。CONTRAMでは次のようにこの現象を処理している³⁾。まず、あるパケットを最短経路に配分しリンク交通量を改訂した後、通過したリンク末端のタイムスライスの終わりにおける待ち行列長を計算する。この待ち行列長がリンクの貯留可能台数を越える場合にはバックブロッキングと判断し、上流リンクの容量を待ち行列の捌け容量と等しくなるまで減少させる。したがって、これ以降当該タイムスライス内では上流リンクからのパケットの進入は容量を超えるためできなくなり、バックブロッキング状態が再現される。しかし、この方法には以下に述べるようないくつかの問題が存在する。

理論的には待ち行列内の流率（ボトルネック容量）によって密度は変化するため、リンク内に存在できるパケット台数の上限は一定ではない。しかし、CONTRAMでは

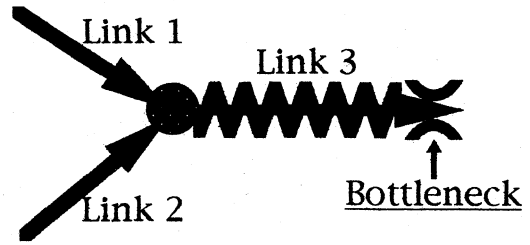


図4 合流を含むネットワーク例

この上限として固定値のジャム密度を与えるため、比較的速度の高い渋滞の場合は実際にリンクに滞留できる台数以上の車が待ち行列としてリンク末端に存在することになってしまう。また、待ち行列台数は各タイムスライスの起終点でしか評価できず、タイムスライスの間では待ち行列台数が正確に評価できていないために結果的に上限以上の待ち行列ができる場合もある。

これらはすべてリンク末端の待ち行列の問題であったが、リンク内には末端以外にも存在するパケットがあり、これらは考慮されていない。したがって、リンクに理論上存在できる台数を越えるパケットがリンク全域に存在でき、タイムスライスの終わりにリンクの末端に到着しない限りリンクへは何台でも進入できることになる。このことは、合流部におけるバックブロッキングの処理に際し問題となる場合がある。たとえば、図4のネットワークでリンク3の先頭をボトルネックとして渋滞が生じ、リンク3の末端の待ち行列があるタイムスライスで上限に達したとしよう。リンク1、2には待ち行列は存在しないとす。このとき、このタイムスライスの中にまずリンク1の末端に、少し遅れてリンク2の末端にパケットが到着したとする。この場合、これらのパケットは両方ともバックブロッキングのためリンク3には進入できず、リンク3に進入するのは次以降のタイムスライスであり、先に合流点に到着したリンク1経由のパケットが先に出発するのが妥当である。しかし、もしリンク2経由のパケットがそのままリンク3に進入して末端の待ち行列に到着するのが次のタイムスライスになる場合は、リンク2経由のパケットはこのタイムスライス内に出発でき、先に合流点についたリンク1経由のパケットよりも早くリンク3に進入できる。これはリンク2経由のパケットがこのタイムスライスの終わりにはリンク3に進入しているにもかかわらず末端までは到着していないため、待ち行列に加えられないために起こる問題である。

単路の場合について図5のような簡単なネットワーク条件で実験を行い、バックブロッキング時のパケットの挙動を見てみる。図6は各ノードにおける累積交通量グラフである。ここでAノードにおける到着、出発の累積交通量グ

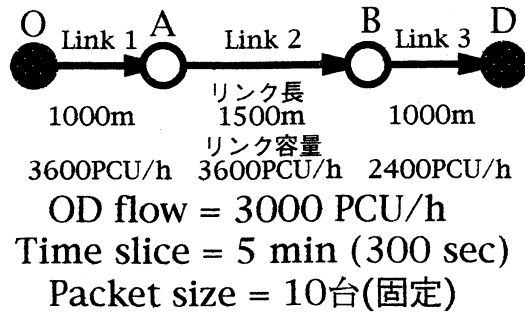


図5 実験ネットワーク

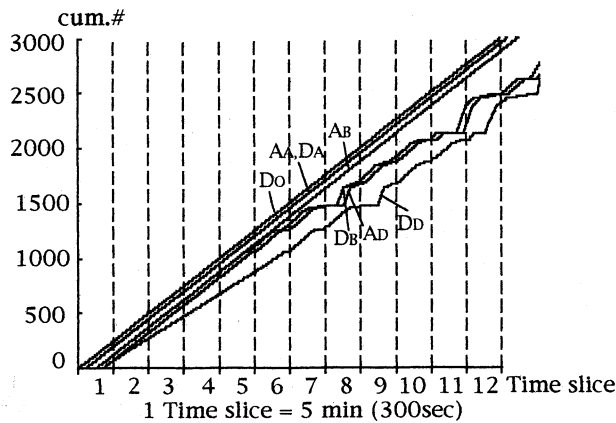


図6 実験ネットワークによる累積交通量図

ラフをそれぞれ A_A , D_A と表し、他のノードについても同様に表す。リンク3で過飽和となっているため終端のDノードをボトルネックとして渋滞が発生し、その渋滞列がBノードに達するとバックブロッキングが生じ、リンク2にも渋滞が伸びる。このときリンク2の容量が見かけ上減少しリンク3の容量と等しくなる。図6でも、大まかな傾向は理論と同じであるが、IIで述べた理由によりタイムスライス1ではリンク3に渋滞が生じず (A_D と D_D が重なっている) タイムスライス2で初めて渋滞が生じている。また、 A_B と D_B が乖離して、ノードBでの遅れが生じるタイムスライス5以降は、バックブロッキングが起きていることを示しているが、長時間リンク2の終端で待つパケットが存在する一方、多くのパケットが短時間にまとめて出発する場合があるなど、不安定な挙動を示している。

4. CONTRAM の他の問題点

CONTRAM の問題点の内、まだ言及していないものとしては、つぎのようなものがある。

ひとつはパケットサイズの決定方法の問題であるが、固

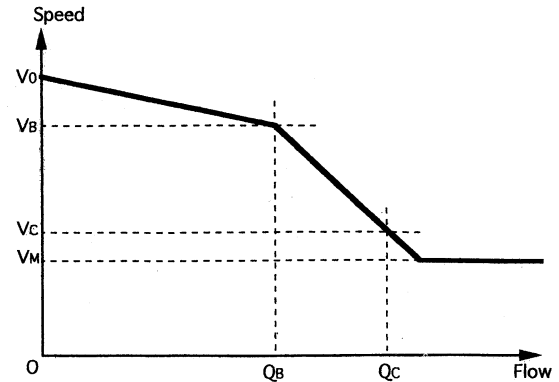


図7 COBA 型 Q-V 曲線

定値を外生的に与える方法と可変的に内部で自動的に決定する方法がある。ここでパケットサイズを固定させると設定した需要交通量と実際にモデル上を流れる交通量との間にズレが生じる場合がある。極端な例として、パケットサイズを1台としてそれぞれ3000PCU/h, 5000PCU/h のOD交通量を流すと、車頭間隔はそれぞれ1.2秒, 0.72秒となるが、車頭間隔は整数としてとらえられるためともに1秒となり、3600PCU/h の交通量が流れることになり、設定需要交通量との大きなズレが生じる。

また、フリー走行時間の表現方法としてはリンク内走行速度あるいは走行時間を一定とする方法とリンクごとにQ-V曲線を設定する方法があるが、Q-V曲線は図7のようなCOBA型であり、自由流領域の関係のみを表すものである。したがって、前述した渋滞列の密度を流率と関連づけるために必要な渋滞領域におけるQ-V関係が不足している。

他には、2本以上のリンクが信号等がなく合流するとき、合流リンク間の合流比を任意に決定できない、といった問題もある。さらに、タイムスライスは13個しか設定できないため、計算可能なシミュレーション時間に制限がある、という問題もある。(1993年11月10日受理)

参考文献

- 1) D.R. Leonard, J.B. Tough and P.C. Baguley: CONTRAM: a traffic assignment model for predicting flows and queues during peak periods, TRRL LR 841, 1978
- 2) N.B. Taylor: Contram 5: an enhanced traffic assignment model, TRRL RR 249, 1990
- 3) D.R. Leonard, P. Gower and N.B. Taylor: CONTRAM: Structure of the Model, TRRL RR 178, 1989