

都市高速道路の制御方策評価のための交通シミュレーション

Traffic Simulation to Evaluate Control Strategy of Urban Expressway

飯田恭敏*, 宇野伸宏**, 濱田吉貞***

Yasunori IIDA, Nobuhiro UNO and Yoshisada HAMADA

1. はじめに

本研究では、主として都市高速道路のソフト的な交通コントロール方策の影響評価を目的とした、交通シミュレーションモデルの開発を試みる。マクロモデルを基礎として、個別車両の意思決定を考慮するためマイクロモデルの特性を加味した、ハイブリッド型のモデル（メソモデル）の一種として構築する¹⁾。

2. シミュレーションモデルの概要

(1) モデルの特徴

交通コントロール方策の代表例としては、4章で紹介する流入制御手法、VICS 等を利用した情報提供方策があり、実際にはこれらを統合して運用している。特に情報提供方策の有効性については、ドライバー個々の情報に対する反応に依存している。フローの観点から情報提供の有効性を評価するには、非集計レベルでの意思決定を明示的に考慮できるミクロシミュレーションモデルの利用が望まれる。

一方、本シミュレーションモデルはアクセスコントロールされた都市高速道路を主な適用対象としており、マクロモデルとして構築してもフローの再現性についてはある程度期待できる。これは2つのランプで挟まれた単路部については、その交通状態を一樣と見なし易いためである。マクロモデルの計算量や計算時間は一般的に、車両個々の挙動を明示的に取り扱うマイクロモデルと比較して小さく、比較的大規模のネットワークへの適用も可能である。

本研究では、ブロック密度法に基づくマクロモデ

ルを基礎とし、そこにマイクロモデルの特徴を加えたものとする。すなわち各リンクの交通状態は、交通流の基本式およびフローの保存則に基づき、交通密度・平均速度等のマクロな状態量で記述するが、その交通の最小単位は車両1台1台とし、各車両はマクロ的に決定された交通状態に従い、そのOD特性に応じてネットワーク上を走行すると仮定する。

なおプログラム作成にはオブジェクト指向プログラム開発ツールである Borland Delphi 3.0TMを用いた。

(2) シミュレーションモデルの基本的考え方

a) ブロック密度法によるフロー挙動の記述

図-1 に示すようにリンクを複数のブロックに分割し、単位時間におけるブロック間のフロー移動によって交通流を表現する。ここでブロック長については、次の関係を満足するものとする。

$$(\text{ブロック長}) \geq (\text{自由走行速度}) \times (\text{単位時間幅}) \quad (1)$$

式(1)が成立すれば、車両が1単位時間にブロックを飛び超えることはなく、ブロック内の全交通は残留フロー、流出フローのいずれかに属することとなる。

時刻 $t \sim t+1$ の1単位時間における隣接ブロック $j, j+1$ 間 ($j+1$ が上流側ブロック) の交通量 $Q_{j,j+1}(t)$ は、その密度 $K_j(t), K_{j+1}(t)$ に基づき下記の4関係式のいずれかを適用することで求められる。

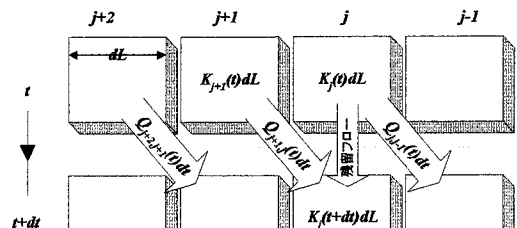


図-1 ブロック密度法による交通流の表現

キーワード: 交通制御, ネットワーク交通流

* フェロー会員 工博 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻

** 正会員 博士(工) 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻

〒606-8501 京都市左京区吉田本町

TEL 075-753-5126, FAX 075-753-5907

*** 正会員 工修 JR西日本

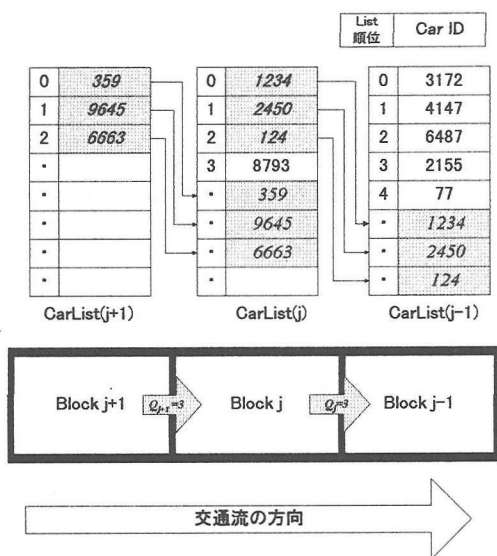


図-2 ミクロレベルでのブロック間車両移動処理

①ブロック $j+1, j$ とも非渋滞の場合

$$Q_{j+1,j}(t) = F(K_{j+1}(t)) \quad (2)$$

②ブロック $j+1$ は非渋滞, ブロック j は渋滞の場合

$$Q_{j+1,j}(t) = \min\{F(K_{j+1}(t)), F(K_j(t))\} \quad (3)$$

③ブロック $j+1, j$ とも渋滞の場合

$$Q_{j+1,j}(t) = F(K_j(t)) \quad (4)$$

④ブロック $j+1$ は渋滞, ブロック j は非渋滞の場合

$$Q_{j+1,j}(t) = Q_{j+1}^c \quad (5)$$

Q_{j+1}^c : ブロック $j+1$ における臨界交通量 (最大流量)

$K_j(t)$: 時刻 t におけるブロック j の交通密度

F : Q-K 関係を示す関数 ($Q=F(K)$)

上記の計算を下流側ブロックから上流側ブロックに向けて順次行うことで, 時刻 $t \sim t+1$ でのブロック間交通量 $Q_{j+1,j}(t)$ が求められる。

時刻 $t+1$ 時点での各ブロックの密度 $K_{j+1}(t+1)$ は, フローの保存則を用いて次の様に更新される。

$$K_j(t+1) = K_j(t) + Q_{j+1,j}(t)/L_j - Q_{j,j-1}(t)/L_j \quad (6)$$

ここで, L_j はブロック j の長さである。

b) ミクロレベルでの車両の移動

本シミュレーションでは, オンランプからの流入車両各々に ID を持たせ, さらに各ブロック及びノードは存在車両の ID リストを持っている。ミクロレベルでの車両の移動については, ブロック密度法によ

り先に求めたブロック間交通量に応じて, この車両 ID を下流ブロックの ID リストに移動させる。車両の流入については, ID リストの最上位の車両から流出し, 流入車両はリストの最下位に加えられると仮定する。すなわち本シミュレーションでは First In First Out(FIFO)を常に満たすと考えられる。参考のため, ブロック間での車両 ID のやりとり, ならびにミクロレベルでの車両移動の例を図-2 に示す。

またオフランプに相当するノードでは, ID リスト内の車両の目的地を確認し, 都市高速道路本線からの流出判定処理を行っている。

3. 現況再現性の確認

(1) 現況再現シミュレーションのねらい

如何なるモデルについても, その優劣を評価するための第一歩は, 現状をそのモデルが再現できるかという点の確認である。本シミュレーションモデルは, ブロック密度法によるマクロモデルを基礎として, 各車両の OD 特性や将来的には経路選択を考慮できるようにミクロモデルの特長も加味したものである。しかし, その基本はマクロモデルであり, 現況再現性についても, オフランプからの流出交通量ならびに本線上の速度変化について, 実測値とシミュレーションの推定値を比較することで確認する。

なお, ブロック密度法と車両 ID のブロック間でのやりとりには不整合はなく, 計算途上で車両が消滅する等の初歩的ミスは無いことは別途確認している。

(2) 計算条件の設定

a) ネットワーク

対象ネットワークとしては, 阪神高速道路 11 号池田線上りを想定した直線状の道路ネットワークとする (図-3)。図-3 より明らかな様に各 OD 間の利用可能経路は 1 本に限定される。

ブロック密度法の計算を行うためには, 式(2)~(4)に含まれる Q-K 関係の設定が必要である。図-4 は各リンクの Q-K ならびに K-V 関係を示している。K-V 関係については, 車両検知器データを用いて, 線形回帰分析により推定した。推定用データは, 1995 年 9 月 5 日 0 時から 9 月 6 日 24 時の 48 時間分の検知器データである。また Q-K については, 推定された

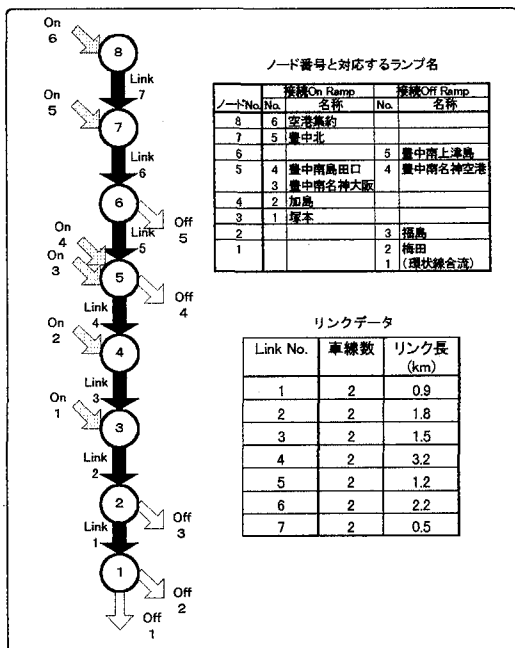


図-3 対象ネットワーク

K-V 関係に基づき、 $Q=K \cdot V$ の関係を用いて求めた。その結果、自由走行速度 V_f は 88(km/h)、飽和密度 K_j は 184(台/km)、臨界状態での 1 分間交通量（最大交通量） Q_c は 67.5(台/分)と定める。なお、この Q-K-V の関係は、ネットワーク内の全リンクに共通とする。

b) 交通データ

ここでは 1995 年 9 月 6 日(水)の朝 5 時 30 分～9 時 30 分を対象日時とし、現況再現シミュレーションを実施する。上記の日時のオンランプ部の検知器データを利用して、本線への流入需要データを作成した。検知器のデータ収集間隔に合わせるため、流入需要は 5 分を単位とする時間変動データとして得られている。なお上記の対象日時においては、流入制御は実施されておらず、流入交通量と需要量は一致する。4 章では流入制御の影響をシミュレーションにより評価するため、(流入交通量) $\leq$ (流入需要量) の関係が成り立つ。この場合の流入交通量は、次章で説明する流入制御モデルの解として得られる。

オンランプ毎の目的地選択率については、1994 年 11 月に実施された「第 20 回阪神高速道路起終点調査」のデータに基づき設定した。目的地選択率も時間変動する可能性は高いが、動的 OD データは現在

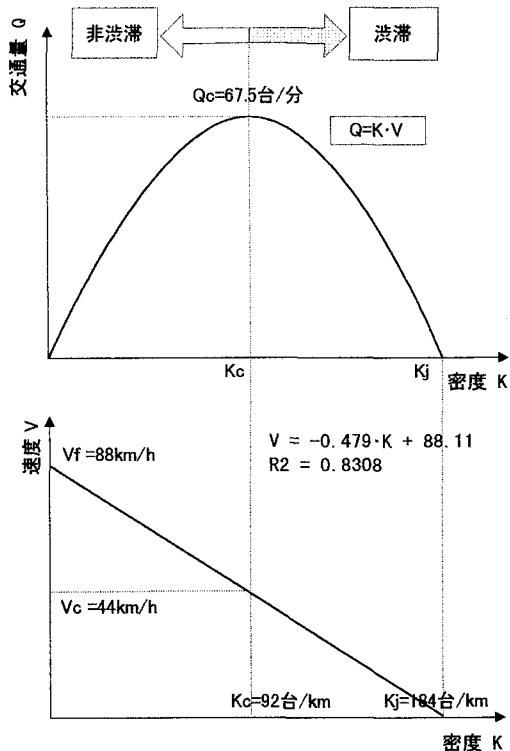


図-4 対象ネットワークのQ-K-V関係

のところ存在しないため、上記の調査データで代用する。なお、この各オンランプの目的地選択率に前記の流入需要量を乗じれば、OD 表に変換できる。

現況再現性をチェックする際の比較対象として、オフランプ流出交通量の実測値（5 分単位）ならびに走行速度の実測値（5 分間平均）も用いる。

c) シミュレーションの単位時間およびブロック長

シミュレーションの単位時間は 10 秒とする。すなわち、交通状態は実時間の 10 秒ごとにブロック密度法ならびに車両 ID の移動により更新される。また、各リンクは均等な長さを持つ複数のブロックに分割されるが、式(1)よりその長さは次の不等式を満たす様に設定される、

$$(\text{ブロック長}) \geq 88(\text{km/h}) \times 10(\text{sec}) = 0.244(\text{km}) \quad (7)$$

(3) 計算結果ならびに考察

図-5 にはオフランプの流出交通量の実測値と、シミュレーションによる推定値を示す。(a)はオフランプ 1 と 2 の合計値、(b)はオフランプ 3 の値を示している。これを見ると流出交通量の実測値と推定値の

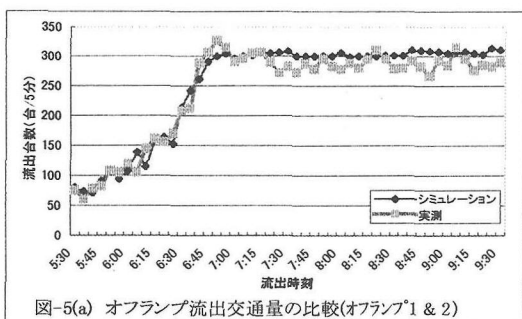


図-5(a) オフランプ流出交通量の比較(オフランプ1 & 2)

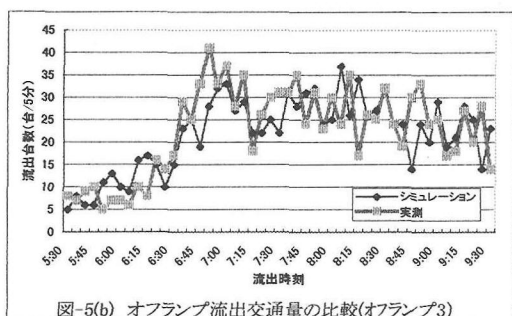


図-5(b) オフランプ流出交通量の比較(オフランプ3)

時間変動傾向は、概ね一致していると言える。図-5(b)で特に顕著であるが時間帯によっては、実測値に対して推定値が約30%の誤差を含む場合も認められる。

各ブロックの速度変化についても実測値と推定値を比較した。紙幅の関係上、計算結果は講演時に紹介するが、ブロック速度の実測値と推定値の時間変化も概ね一致しており、渋滞発生・解消過程もほぼ再現できると言える。ただしシミュレーションの推定結果の方が、渋滞の解消が早く進む傾向がある。

以上の結果より、本シミュレーションモデルの現況再現性は比較的高いが、一部問題点が残されていると言える。この問題点は、Q-K-V の設定方法、ならびに日単位の OD より目的地選択率を設定していることに起因すると考えられる。

4. 流入制御の影響評価

(1) 動的 LP 制御モデルについて

これまで多数の研究がなされている LP 制御モデルを基礎として、交通状態の時間変化を明示的に考慮できる様改良したものが、動的 LP 制御モデルである²³⁾。モデル名称より自明であるが、これは線形計画法を利用し、リンク容量制約や走行速度制約の下で、総走行距離を最大化するためのオンランプ流

入可能量を求めるモデルである。モデルの定式化等は、参考文献3)を参照していただきたい。

2章・3章で説明したシミュレーションモデルの適用事例として、動的 LP 制御モデルの有効性評価を行う。制御モデルの解を流入交通量とするケース(制御時ケース)と、3章で述べた現況再現シミュレーション(非制御ケース)とを比較分析する。

(2) 流入制御の影響評価シミュレーション

3章で述べたネットワークを対象として、動的 LP 制御モデルの解を求め、それをシミュレーションの入力として用いる。制御モデルの解は5分を単位時間として求められる。なお、本章での計算は朝5時30分～8時30分の3時間について実施する。

計算結果の詳細については、流入制御モデル、シミュレーションともに講演時に説明する。ここではその概要のみを述べる。流入制御モデル計算の結果、3時間の対象時間内において、11,033 台の総需要のうち、流入可能量は9,873 台であり制御率は10.5%であった。この解をシミュレーションの入力としたところ、本線上の一部に混雑が残るものの、概ね円滑にフローが流れることが確認された。すなわち、動的 LP 制御モデルを適用することで、渋滞が概ね予防できるということが言える。

5. おわりに

本研究ではマクロモデルであるブロック密度法を基礎として、各車両の OD 特性や経路選択を考慮できるようミクロモデルの特長を加味した交通シミュレーションモデルを開発した。今後の課題としては、Q-K-V 関係の設定の精緻化、ドライバーの経路選択サブモデルの導入等を挙げることができる。

本研究を遂行するに当たり、阪神高速道路公団より貴重なデータのご提供をいただいた。記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 渋谷秀悦・中辻隆：ハイブリッド型交通流シミュレーションモデルの市街路網への適用，土木計画学研究・講演集 No.19(2)，pp.287-290，1996。
- 2) 例えば、佐佐木綱・明神証：都市高速道路における流入制御理論，交通工学，Vol3，pp.8-16，1968。
- 3) 楊曉光・飯田恭敬・宇野伸宏：走行速度の時間変化を考慮した動的 LP 制御モデル，土木学会論文集第4部門，1998.7 掲載予定。