

都市高速道路における交通管理施策評価のための交通シミュレーターの開発

Development of Traffic Simulator for Evaluation of Traffic Control Measure on Urban Expressway

奥嶋 政嗣^{*}・大窪 剛文^{**}・大藤 武彦^{***}
Masashi OKUSHIMA^{*}, Takefumi OHKUBO^{**}, Takehiko DAITO^{***}

1. はじめに

都市高速道路において、時々刻々と変化する交通状況に対して、より適切な情報提供・交通制御を行なうための手法の1つとして、交通流シミュレーションによるアプローチが考えられる。このとき、高速道路本線に関する渋滞情報や、渋滞緩和のために行う流入制御によって、都市高速道路への流入予定車両が、周辺の一般街路などの代替経路への迂回を選択することも考えられ、これらの車両群の影響についても考慮しておく必要がある。

これまで、阪神高速道路公団では、交通管制システムにおける、交通流シミュレーションによる交通状況の予測モデルについて検討をおこなってきている。リアルタイム運用において、流入制御などの施策評価を行うためには、経路選択行動モデルを内生化し、代替経路における交通状況を評価できるモデルを組み込む必要がある。ここで、経路選択行動モデルについては、数多くの既存研究^{1) 2)}がなされており、渋滞情報提供や流入制御状況を考慮した経路変更や、経路途中での動的な経路選択についても分析がなされてきている。

そこで本研究では、これら既存の経路選択行動モデルと一般街路における交通流モデルとを交通シミュレーター(HEROINE)に適用し、迂回交通の影響も含めた施策評価指標を出力可能なシステムを開発することを目的とする。そのなかで、具体的な計算手順と適用事例を示すこととする。

キーワード：交通流, 交通制御, 交通管理, 経路選択

^{*} 正会員, 工修, 岐阜大学 工学部社会基盤工学科
(〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1, TEL:058-293-2446,
E-mail:okushima@cc.gifu-u.ac.jp)

^{**} 正会員, 阪神高速道路公団 業務部交通管制課

^{***} 正会員, (株)交通システム研究所

2. 交通シミュレーターの基本構造

まず、本研究で構築する交通シミュレーター(HEROINE)について概説する。図1に示すように、流入需要予測モデル、高速本線フローモデル、交通管制モデル、データ蓄積の4つのサブシステムに加えて、経路選択行動モデル、迂回交通フローモデルの2つを合わせて、計6つのサブシステムにより構成されている。交通管制システム他系より収集されたリアルタイムの交通状況を入力とし、高速道路本線上およびその代替経路となる主要な一般街路における、およそ2時間後までの短期的な交通状況の推移を予測するものである。ここで、高速道路利用交通のみを対象とし、各車両はそれぞれの予定入口より出発し、予定出口にて到着することを予定していることとする。

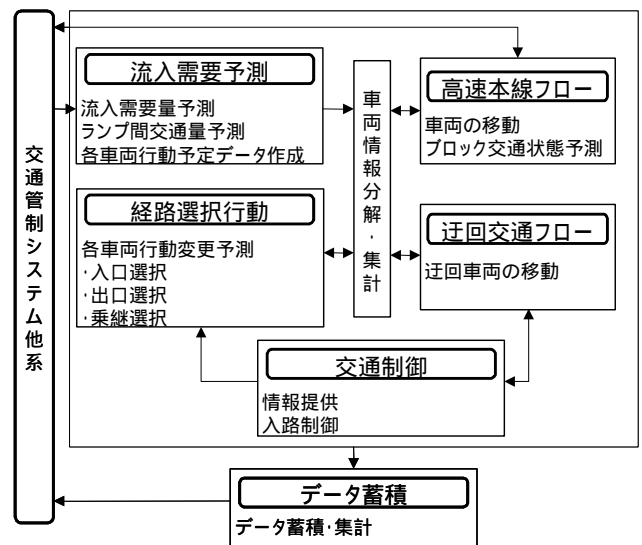


図-1 交通シミュレーター(HEROINE)の概要

個々の車両に対して、経路途中において動的経路選択モデルを適用するための前提条件として、経路選択地点では、一体として扱われていた車群を、

個々の車両に分解して管理しておく必要がある。これまでに、交通密度を基本とした交通流シミュレーションにおいて、個別車両を取り扱う方法について、報告がなされている³⁾。ここで本研究では、車両管理の単位としては、入出路や分合流点で区切られた区間（リンク）を基本単位とし、交通状況を管理する単位であるブロックは、このリンクを約 250m 単位で分割することにより設定することとした。このとき、車両管理の方法は、走行車線、追越車線を区別することなく、FIFO の原則に基づくこととした。

3. 経路選択モデルの適用

(1) 動的流動を考慮した既存の経路選択モデル

これまで、都市高速道路における動的な交通流動を前提とした経路選択モデルについてはすでいくつかの提案がなされている。

まず、入路での経路選択については、利用予定者を対象として、上位レベルで都市高速道路の利用/非利用選択、下位レベルで予定入路/代替入路選択をおこなう2段階のNLモデルが提案されている¹⁾。ここでは、利用/非利用選択の説明要因として、原因別渋滞の有無、渋滞比や流入制御の有無などが取り上げられており、予定入路/代替入路選択の説明要因として、経路長、原因別渋滞比などについて分析されている。

次に、本線走行中に事故などの原因により、渋滞が発生した場合の予定経路/迂回出路選択を行うモデルについても分析がなされている¹⁾。ここでは説明要因として、原因別渋滞比、経路長に加え、迂回分岐点よりの本線利用距離と代替街路走行距離について考察されている。

また、乗継無料割引経路利用/非乗継経路選択については、所要時間などを要因として、モデルの構築がなされている²⁾。

本研究では、これらの既存の経路選択行動モデルについて、交通シミュレーションへの適用を検討し、統合的なシステムとして組み込むこととする。

(2) 入路側での選択モデルの適用

各車両においては、それぞれが発する時点で、入路側での経路選択を行うこととした。ここで、予定入路 - 出路間のランプ間利用経路および非利用経

路については、それぞれ高速道路ネットワークと代替街路ネットワークにおいて、最短経路探索によって決定することとした。

迂回入路を利用する経路については、その候補として予定入路の下流側の入路だけでなく、比較的近くに位置する他路線の入路についても候補となる可能性がある。代替入路の候補が多数ある場合の迂回入路の決定方法としては、閉鎖などによって利用不可能な入路を除いて、代替街路リンクのみで構成されるアクセス経路の所要時間と、代替入路から出路までのランプ間所要時間の和が最小となるオンランプを迂回入路として選定することとした。

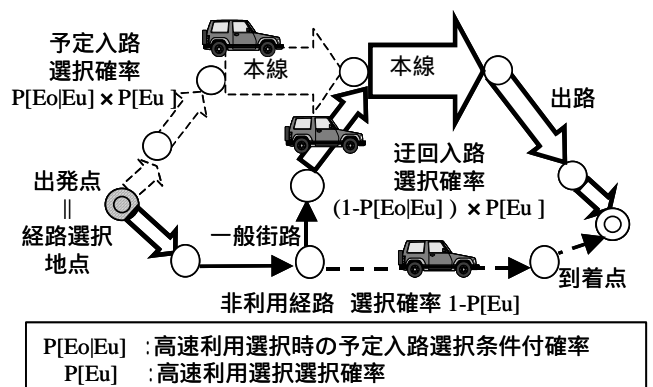


図-2 入路における代替経路のイメージ

(3) 出口分岐選択モデルの適用

本線上の出口分岐点の1ブロック手前の地点に、経路選択行動の意思決定地点を設定し、各車両について経路選択を行う構造とした。出口分岐選択を適用する場合、通過するすべての分岐点において選択が逐次行われることとなるため、各車両について選択行動の一貫性を保持できるように、各車両に対して経路維持特性値をあらかじめ一様乱数で付与しておき、この値が迂回確率を下回った場合に、迂回経路を選択させることとした。

(4) 乗継分岐選択モデルの適用

乗り継ぎにおける経路選択については、その最終意思決定地点は、ネットワークの形状により、乗り継ぎ出路寸前の場合もあれば、乗り継ぎ出路から遠く離れた路線分岐点の場合もある。ここでは、予め設定された無料乗り継ぎ経路のみを対象としているため、乗り継ぎの意思決定地点もデータ入力することとしている。ただし、交通状況に応じた時間帯別の乗り継ぎ制などを検討する場合には、意思決定地点も動的に設定できるよう考慮する必要がある。

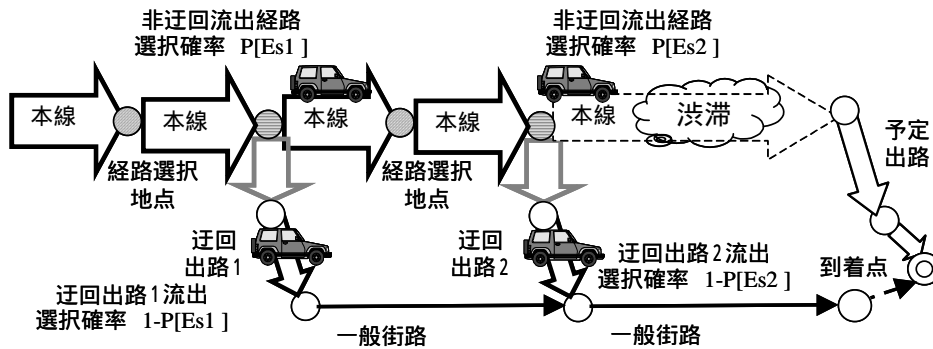


図-3 出路分岐における経路選択のイメージ

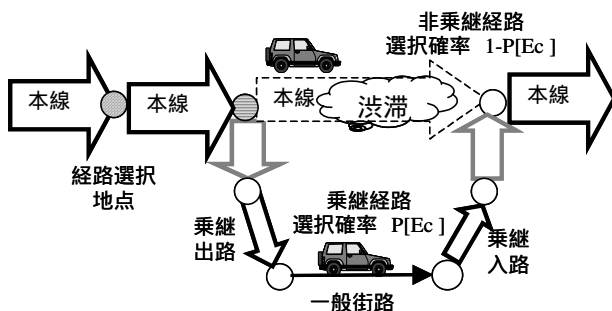


図-4 乗り継ぎ分岐における経路選択のイメージ

4. 迂回交通フローモデルの適用

(1) 迂回交通フローモデルの概要

代替道路となる一般街路では、主要路線においては交通状況がリアルタイムで観測されているものの、その路線への流入量などを詳細に把握できる状況にはない。そのため、ここでは都市高速道路の利用予定であった迂回車両および乗り継ぎ車両についてのみ車両移動を記述することとした。対象外の交通については、迂回交通の影響を受けて、各リンクの所要時間のみを算定することとした。

また、スキャンインターバルについては、リアルタイムでのモデル適用のための計算時間の制約と迂回交通が別の入路に流入するまでの時間を考慮して、1分単位とした。ただし、この1分間に起こるそれぞれの車両移動については、計算時間の短縮を意図してイベント駆動型とした。ここで、高速本線フローモデルとスキャンインターバルが異なるため、ランプ部では両モデルの同期を取る必要がある。迂回交通フローモデルを先行させ、接続部において流入時刻の詳細を管理することで、高速本線フローモデルの精度を優先させることとした。

(2) 代替道路における交通流の記述

代替経路の各リンクにおける交通流については、過去15分間の流入交通より影響を受けるとし、15分間予測流入交通量 QE_l は、

[i]時点前の迂回車両の流入台数 $QU_{l,i}$ と時間帯 m の観測時間交通量 $QN_l(m)$ を用いて式(1)のように記述することとした。

$$QE_l = QN_l(m)/4 + \sum_i^{15} QU_{l,i} \quad (1)$$

この QE_l に対して、時間 Q 関数 $v(QE_l)$ を定義し、リンク距離 D_l から所要時間を算出する。ただし、FIFO条件を満たすため、式(2)のように定義した。

$$T_{l,i} = \max\{D_l \times v(QE_l), T_{l,i-1} - \Delta t\} \quad (2)$$

(3) 代替道路における迂回車両の移動

式(2)によって算出された所要時間に基づき、各迂回車両にはリンク流出予定時刻を時刻を割り当てる。ここで交差点下流側リンクの容量制約を考慮して、下流側へ車両移動する台数を決定することとした。また、下流側リンクの容量制約は、迂回交通、一般交通(非対象車両)ともに均等に割り当てるとし、一般交通についても超過台数を考慮するようにした。ここで迂回車両平均混入率 r_l 、一般交通の超過台数 W_{l-1} 、一般交通の流入需要台数 QD_l 、下流側リンクの容量制約 QC_l 、下流側リンクの容量制約の迂回交通への割り当て台数 QCU_l 、当該交差点上流側リンクの迂回車両流出可能台数 QFU_{l-k} とすると、式(3)~(6)により、下流側リンクへの迂回車両移動台数 $QF_{l,i}$ を求めることができる。

$$r_l = \sum_i^{15} QU_{l,i} / QE_l \quad (3)$$

$$QD_l = QE_l / 15 + W_{l-1} \quad (4)$$

$$QCU_l = \max\{QC_l \times r_l, QC_l - QD_l\} \quad (5)$$

$$QF_{l,i} = \min\{QCU_l, \sum QFU_{l-k}\} \quad (6)$$

流出可能となっている上流側リンクの各迂回車両については、それぞれのリンクを区別することなく、流出予定時刻順に車両を移動させることとした。

5. 適用事例

(1) 適用対象

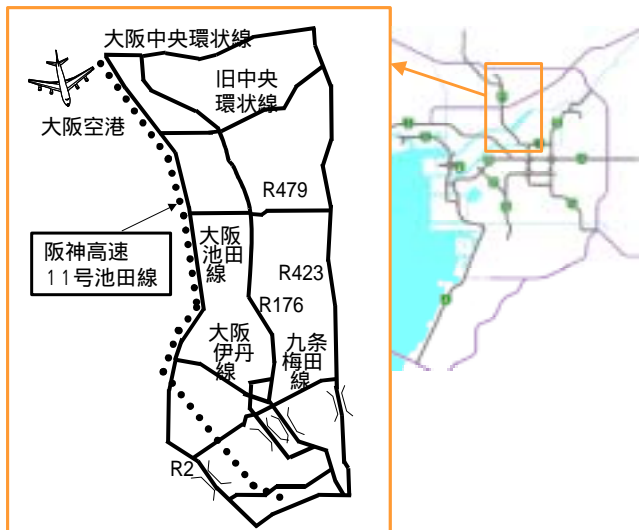


図-5 対象路線

ここでは、阪神高速道路11号池田線とその代替経路となる一般街路を対象として、流入制御方法の比較検討を交通シミュレータの適用を行った。ここでは入路側での経路選択行動モデルと代替経路での迂回交通フローモデルを用いて、現況再現および「入路制御ブース制限方式」、「流入調整方式」の各流入制御を適用した場合の交通状況を推計した。入力交通量データは、平成11年10月21日(木)午前6時30分～8時30分の車両検知器データに基づく毎5分の入路流入交通量と阪神高速道路第21回起終点調査結果に基づく時間帯別ランプ間OD交通量とした。なお、流入需要量については、経路選択行動モデルより逆算して適用している。

(2) 再現性の検証と各制御適用時のモデル挙動

まず、現況再現においては、流入台数、渋滞の発生地点および時刻、渋滞長、渋滞量など精度よく再現できている。

表-1 交通状況推計結果の比較

| 制御手法 | 渋滞量 (km*H) | 流入 台数 | 総旅行 時間 (H) | 平均 速度 (km/H) |
|---------|---------------|----------|------------------|--------------------|
| 実績値 | 13.1 | 10150 | - | - |
| 現況再現 | 12.5 | 10159 | 2773 | 29.3 |
| ブース制限方式 | 11.2 | 10159 | 2710 | 30.1 |
| 流入調整方式 | 10.9 | 10192 | 2650 | 30.5 |

流入制御適用時には、「入路制御ブース制限方式」、「流入調整方式」とともに、高速本線上の渋滞

が緩和されることにより、比較的早い段階で高速利用を選択する車両台数が回復する傾向にあるという結果となっている。このことは、入口側での経路選択モデルが有効に機能していることを示している。

6. おわりに

本研究では、都市高速道路での交通管制システムにおける交通流シミュレーションモデルの適用のため、情報提供や流入制御施策に起因した、都市高速道路利用予定車両の一般街路など代替経路への迂回行動による影響を考慮できるよう、その既存の経路選択行動モデルを適用する方法について検討し、一般街路におけるフローモデルを提案し、それらの具体的な計算方法を提案した。また、その適用事例についても示した。

今後の課題としては、以下の点が挙げられる。

- 出口選択・乗継選択モデル併用時の精度検証
- 一般街路におけるフローモデルの精度検証
- 一般街路におけるリアルタイム交通情報の活用
- 時間帯別OD表の動的推計方法の確立

謝辞:本研究で用いた交通シミュレーターは、「阪神高速道路の交通管制に関する調査研究委員会」での議論を参考として提案したものであり、ここに記して感謝の意を表します。特に個別車両の取り扱いについては秋山孝正教授(岐阜大学)、入路および本線上での経路選択については宇野伸宏助教授(京都大学大学院)、乗継選択モデルについては藤井聡助教授(東京工業大学大学院)に、その適用方法についてご指導いただきました。あわせて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 高野明, 宇野伸宏, 飯田恭敬, 長沼敏彦: 経路選択行動分析に基づく都市高速道路の交通管制方策評価, 第21回交通工学研究発表会論文報告集, pp.329-332, 2001
- 2) 阪神高速道路公団: 動的交通流動予測手法に関する調査研究報告書, 1999
- 3) 秋山孝正, 土田貴義, 小川圭一: 個別車両挙動を考慮した都市高速道路の渋滞シミュレーションの構築, 土木学会論文集No.702/ -55, pp.103-115, 2002
- 4) T.Yukimoto, M.Okushima, N.Uno, T.Daito: Evaluation of On Ramp Metering on Hanshin Expressway Using Traffic Simulator (HEROINE), The 9th World Congress on Intelligent Transport Systems (2002) (Submitting).