

都市交通政策評価のためのファジィ理論に基づくミクロ交通流シミュレーションの構築*

Fuzzy Logic Based Microscopic Traffic Simulation for Urban Transport Policy Evaluation *

奥嶋政嗣**・秋山孝正***・エランパリマデュー****

By Masashi OKUSHIMA**・Takamasa AKIYAMA***・Madhu ERRAMPALLI****

1. はじめに

これまでに、都市道路網を対象としたいくつかの交通流シミュレーションモデルが提案されている。ここで、地方都市の都市交通政策ではバス交通への対応が重要である。このようなバス交通への対応を中心とした都市交通政策評価においては、バスの運行面の交通現象が、政策全体の有効性にも大きく影響を与える。このため、ミクロな道路交通シミュレーションを利用する必要性が高い。特に、バス優先レーンなどの交通政策に関して、自動車交通およびバス交通の相互の影響による複雑な作用により、個別車両の局所的な行動変化が広範囲に影響を与える場合がある。なかでも、自動車交通はあいまい性をもつ意思決定の結果である。すなわち、各ドライバーの主観的な認知に基づく判断の結果である現象は非線形性が高く、関数型モデルでは記述が容易ではない。このとき、個別車両の行動を的確に記述することで、交通現象の波及的影響を算定することも可能である。

本研究では、都市道路網を対象として個々の車両移動を表現する交通流シミュレーションモデルをファジィ理論に基づいて構築する。ここで、追従挙動、車線変更、経路選択など、すべての車両挙動について、ドライバーの認知および運転操作におけるあいまい性を考慮したモデル記述を行う。また実際の地方都市の都市交通ネットワークを対象として、各種の都市交通政策（バス交通政策）について、具体的な政策内容の提案を行い、広域的側面および局所的側面の両面より評価を行う。具体的には、バス優先レーンおよびそれを補完するためのバスレーンにおける駐車規制の検討を行う。これらのバス交通

政策の検討を可能とするために、駐車車両回避挙動および交差点での停止挙動に関して車両挙動モデルを構築する。このような複雑な交通挙動に関しては、あいまい性を考慮することで、車両挙動を比較的容易に表現できる。

これより、都市交通政策評価のために、ファジィ理論に基づいて都市道路網の交通流シミュレーションを構成することの有効性が提示可能となる。

2. 都市交通政策評価のための交通流シミュレーション

(1) 既存の交通流シミュレーション

個々の車両移動を表現するミクロ交通流シミュレーションモデルでは、多様な交通施策評価に対応するために、その評価対象となる交通施策に対応したモデルの構成および記述がなされている¹⁾。このため、ここ20年間で、数多くのミクロ交通流シミュレーションが開発されている。たとえば、欧州のSMARTTESTプロジェクトによる報告では、ミクロ交通流シミュレーションモデルとして32モデルが取り上げられている²⁾。

近年の国外の著名なミクロ交通流シミュレーションモデルとして、たとえばMITSIM³⁾、AIMSUN⁴⁾、DRACULA⁵⁾、FLOSIM⁶⁾などがあげられる。また、VISSIM⁷⁾、PARAMICS⁸⁾などの商用ソフトウェアでは、3次元アニメーション画面表示などの機能を備え、都市道路網を対象とした交通施策評価が可能となっている。

一方、国内においては、AVENUE⁹⁾がハイブリッドブロック密度法により、ネットワーク交通流シミュレーションモデルに微視的な交通現象記述を組み込んでいる。また、都市道路網を対象としたミクロ交通流シミュレーションモデルでは、tiss-NET¹⁰⁾、VISITOK¹¹⁾、INSPECTOR¹²⁾などが交通施策評価に適用されている。これらのモデルでは、路上駐車対策、バス優先施策、トランジットモール導入などの交通施策のインパクトについて、局所的な交通現象分析が可能であるとともに、広域的な交通流動への影響把握を可能としている。

ここで、従来の交通挙動モデルについて、①ドライバーが認知できない微小変化の判定、②状況変化過程に依存した運転操作の記述（たとえば、追従挙動における相対速度の増減に対する加減速の非対称性の表現）、③多

*キーワード：都市交通政策，ファジィ理論，ミクロ交通流シミュレーション，バス優先レーン，駐車規制

**正会員，博士(工)，徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部エコシステムデザイン部門

(〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1, TEL:088-656-7340,

E-mail: okushima@eco.tokushima-u.ac.jp)

***正会員，工博，関西大学環境都市工学部
都市システム工学科

****博士(工)，Central Traffic Research Institute

様で複雑な状況に対する条件判断の記述などが問題点として挙げられている¹³⁾。したがって、自動車交通およびバス交通の相互の影響による複雑な作用を表現するためには、各ドライバーの主観的な認知および運転操作に対応した車両挙動を記述することが重要となる。個々の運転者の行動に帰着する交通現象においては、定性的な傾向（言語的な理解）を示すことは比較的容易であるが、数量的な関係を数式表現することは難しい。現実的な行動を表現するにはファジィ推論が適当である。このため、「経路選択行動」、「追従行動」、「車線変更行動」などの運転者挙動について、ドライバーの認知および運転操作におけるあいまい性を考慮したモデルが提案されている^{14)~21)}。これらの運転者挙動モデルでは、ファジィ理論に基づいて、各ドライバーの主観的な認知および運転操作を記述している。

本研究では、ドライバーの主観的な認知および運転操作に対応した車両挙動を表現するために、ファジィ理論に基づく運転者挙動モデルにより、都市道路網を対象としたマイクロ交通流シミュレーションを構成する。

(2) ネットワーク交通流シミュレーションの全体構成

本研究では、都市交通政策についての影響分析を行うため、これまでに筆者らによって開発されている都市道路網を対象としたマイクロ交通流シミュレーションモデルを基本とする。本研究のネットワーク交通流シミュレーションの基本構造を図-1に示す。

本研究のネットワーク交通流シミュレーションでは、①信号現示設定データ、②道路ネットワークデータ、③時間帯別OD表データ、④バス停・経路設定データおよび⑤道路区間設定データの5種類の入力データに基づいて、個々の車両移動を表現する。単位時間を1秒とし、①信号現示更新、②経路探索、③車両発生・到着、④車両移動、⑤区間指標更新を順に算定し、数時間後までの都市道路網の各区間の交通状況、個々の車両軌跡を推計する。ここで、車両属性は「普通乗用車」、「大型貨物車」、「バス」の3種類とし、「バス」はバス停・経路設定データにおいて設定された規定経路を走行するものとする。また、各時刻における交通状況が4種類の指標として出力される。さらに、局所的大局的な交通現象解析を可能とするために、本研究で開発を行った交通流動ディスプレイシステム画面で表示可能としている。

(3) 対象道路網の概要

本研究では、地方都市での都市交通政策による交通流動への影響を分析するために、岐阜市の都市道路網を対象とする。岐阜市は人口約40万人であり、トリップの交通機関利用の構成割合は、自動車利用が86.4%を占めている。ここで、対象都市道路網を図-2に示す。

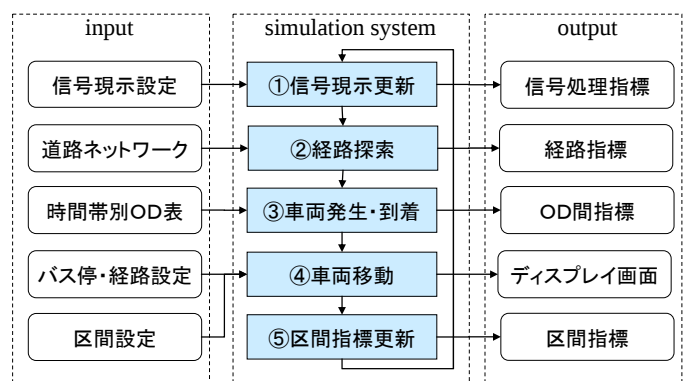


図-1 ネットワーク交通流シミュレーションの全体構成

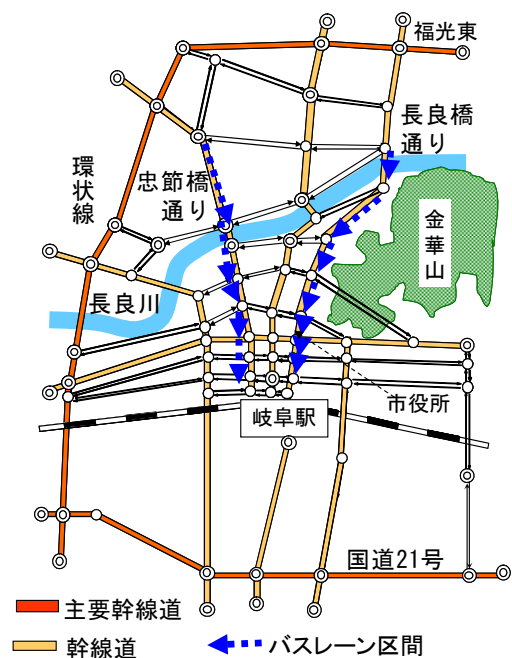


図-2 対象都市道路網とバスレーン区間

岐阜市では岐阜駅周辺に中心市街地が形成され、これを取り囲むように主要幹線道路が整備されている。また、長良川の各橋梁において朝ピーク時(7:00-9:00)に交通集中による交通渋滞が観測される。この朝ピーク時間帯の自動車交通量は25.3%を占めている。

本研究では、岐阜中心部の都市道路網について、主要幹線道路、幹線道路、都心部および長良川北部の補助幹線道路についてネットワーク表現を行った。ここで、各リンクを100m単位の区間に分断し、合計3,780区間で道路ネットワークを形成している。

また、OD交通需要については、第4回中京都市圏PT調査結果を参考に、対象圏域を60ゾーンに分割し、対象圏域に関連する時間帯別OD交通量を作成した。時間帯は朝ピーク時を想定しており、6:00-10:00の4時間帯とした。この結果として、合計243,456台の自動車交通需要を推計の対象とする。

また、図-2に示したバスレーン区間については、朝

ピーク時(7:00-9:00)に左側1車線をバス優先レーンとする。当該行政機関において、社会実験などの検討結果を経て、実際にも運用されている。この結果、現実的な問題は発生していない。

本研究では、このような状況を想定した条件下で、ネットワーク交通流シミュレーションを用いた都市交通政策評価を行うこととする。

3. ファジィ理論に基づく交通流シミュレーション

ここでは、都市交通政策の都市道路網への影響分析を行うため、個々の車両移動を、ファジィ理論を用いて記述する交通流シミュレーション(FLoMiTSiM)を構築する。

(1) 交通挙動推計フローと各モデルの特徴整理

ここでは、運転者の判断要因の認知のあいまいさに基づく現実の複雑な車両挙動を表現するために、ファジィ理論を用いて、運転者の交通挙動として5種類の意思決定をモデル化する。これら5種類のファジィ交通挙動記述モデルの関連性を推計フローとして図-3に示す。

交通流シミュレーションにおける各車両の運転者は、出発時点で「経路選択」を行い、走行経路を決定する¹⁹⁾。このあと各時点において、状況に応じて「交差点での停止挙動」、「車線変更挙動」、「追従挙動」、「駐車車両回避挙動」に関する判断を行い、その結果として次時点の存在位置に車両を移動する。これらの運転者判断における不確実性に対応するため、ファジィ理論を用いる。

これら5種類のファジィ交通挙動記述モデルの構成について、特徴および分析的意義を表-1に整理する。各時点において実行される「経路選択」以外のモデルは、ファジィ推論を用いてモデル記述を行っている。ここで計算時間短縮のため、ファジィ推論の算定を、テーブル関数としてモジュール化している。また、具体的な推論形式には、「代数積-加算-重心法」を用いている²⁰⁾。

たとえば追従挙動モデルは、全70ルール of ファジィ推論で構成されている。このモデルの特徴は、①先行車両との接近状態(急減速が必要な状況)と通常の追従状態

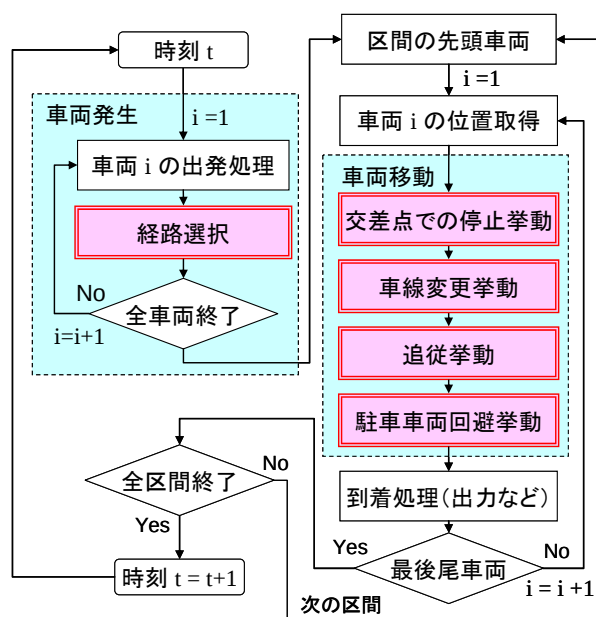


図-3 交通流シミュレーションの推計フロー

を、あいまい性を考慮して判別することにより、円滑な速度減速を表現可能としている。②また、先行車両との相対距離が大きい状況において、自由走行状態と追従走行状態を、あいまい性を考慮して判別することにより、自由走行状態から追従走行状態への移行を円滑に記述できる。この結果として、局所的不安定な状況の表現などが可能となるとともに、急停止回数、区間速度の推計精度向上を図ることができる。

これまでに、経路選択モデル、車線変更モデル、追従挙動モデルについては具体的な構成と検証結果が報告されている¹⁹⁾⁻²¹⁾。たとえば、車線変更モデルにおいては、「追い越しのための車線変更挙動」「交差点での進路変更のための車線変更挙動」「バス優先レーンでの退避のための車線変更挙動」などが記述されている²⁰⁾。

「バス優先レーンでの退避のための車線変更挙動」について図-4に示す²⁰⁾。これは、一般車両がバス優先レーンを通行している場合において、後方から路線バスなどが接近してきたときは、その正常な運行に支障を及ぼさないように、速やかに車線変更を行うという行動を、

表-1 ファジィ交通挙動モデルの構成

交通現象	モデル化手法	特徴	分析的意義
経路選択	ファジィ測度	①複数の経路探索基準の組み合わせによる運転者の多様性の表現 ②認知所要時間のあいまい性を考慮した経路選択行動の記述	区間交通量の推計精度向上 OD間所要時間の推計精度向上
交差点での停止挙動	ファジィ推論(24ルール)	①停止線までの距離など多指標での交差点通過可能性判断の記述 ②相対距離のあいまい性を考慮した右折車両の通過可能性判断の記述	交差点待ち台数の推計精度向上 右折通過台数の推計精度向上
車線変更挙動	ファジィ推論(54ルール)	①多様な車線変更意図ごとの車線変更可能性の判断の記述 ②後続車両の譲り挙動に対応した車線変更挙動の表現	車線変更回数の推計精度向上 車線渋滞回数の推計精度向上
追従挙動	ファジィ推論(70ルール)	①接近状態の判別による車両接近時の滑らかな減速挙動の表現 ②自由走行状態と追従状態の判別による自由走行挙動の表現	急停止回数の推計精度向上 区間速度の推計精度向上
駐車車両回避挙動	ファジィ推論(15ルール)	①駐車車両回避のための部分的車線逸脱走行挙動の表現 ②部分的車線逸脱時の減速走行挙動の表現	車線変更回数の推計精度向上 駐車車両による交通容量低下

記述したものである。このとき、後続車両（バス）までの距離(FVD)および変更先車線のギャップ(FSL)を車線変更の判断要因としている²⁰⁾。他の車線変更意図（追い越し、進路変更など）に関する要因を統合的に判断して、車線変更有無をモデル化している。

以下では、ファジィ交通挙動モデルの具体例として、「交差点での停止挙動」「駐車車両回避挙動」の2種類のモデルについて整理する。

このように、交通挙動について、ファジィ理論に基づくモデル化を行うことにより、状況変化過程に依存した運転操作を記述して、状況適応型の車両挙動を表現し、結果的に推計精度の向上が可能となる。

（2）交差点での停止挙動モデル

ここでは、交差点での停止挙動モデルについて具体的に記述する。本研究の交差点での停止挙動モデルでは、①停止信号現示に対する運転者の判断と②対向直進車両に対する右折車両の運転者の判断を表現している。

停止信号現示に対する判断とは、注意信号（黄信号）の点灯時に交差点流入部の走行車両の運転者の意思決定であり、「停止／非停止」を判断するものである。停止信号表示に対する判断過程を図-5に示す。

停止信号現示に対する判断要因は、①先行車両有無、②先行車両加速度、③停止線（リンク先端）までの距離（DST）と④自車速度（SPD）とする。また、停止信号点灯までの時間（TYT）と自車速度（SPD）より、⑤停止信号点灯までに到達可能な距離（RYR）が算定される。

この判断過程に含まれる停止必要度算定のための推論では、停止線までの距離（DST）と停止信号点灯までに到達可能な距離（RYR）を入力とし、停止必要度（NST）を簡略ファジィ推論により表現する。これら2種類の距離のメンバシップ関数は同一とし、ビデオ観測調査の解析結果より得られた黄信号点灯時の走行位置分布を参考に設定した²³⁾。この停止必要度算定のための推論ルールを図-6に示す。停止線までの距離（DST）の値が大きい場合、停止必要度は高くなる。また、停止線までの距離（DST）が中程度の場合には、停止信号点灯までに到達可能な距離（RYR）に対応して停止必要度を判断するルールとなっている。

ここで停止線までの距離（DST）および停止信号点灯までに到達可能な距離（RYR）に関してはそれぞれ、PB（大きい）、PM（中程度）、PS（小さい）の3種類の言語変数で程度を表現している。また、停止必要度（NST）については、NB(=1.0)、NS(=0.5)、PS(=0.5)、PB(=1.0)の4段階で程度を表現している。

一方、右折車両の対向直進車両に対する判断とは、交差点に進入する右折車両（非優先）の運転者が、対向直進車両（優先）に対して行うものであり、先行通過可能

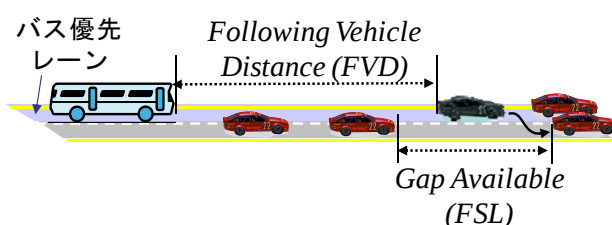


図-4 バス優先レーンでの車線変更挙動

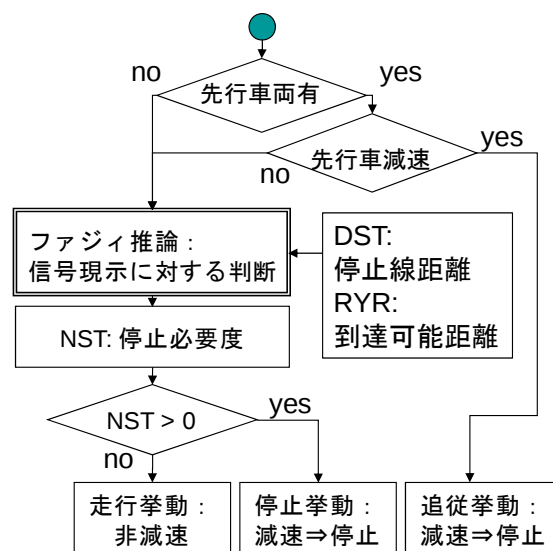


図-5 停止信号表示に対する判断過程

Rule 01	: If DST is PB	Then NST is PB
Rule 02	: If DST is PM and RYR is PS	Then NST is PB
Rule 03	: If DST is PM and RYR is PM	Then NST is PS
Rule 04	: If DST is PM and RYR is PB	Then NST is NS
Rule 05	: If DST is PS	Then NST is NB

図-6 停止信号表示に対する判断ルール

／不可能を判断し、右折待ち停止位置での一時停止を決定するものである。判断要因は①対向直進車両から停止線までの距離（DST）、②右折車両から交差点流出点（交差点内右折リンク先端）までの距離（DXA）、③右折車両速度（SPD）とする。また、これらの指標より、④対向直進車両が交差点に進入するまでに右折車両が移動可能な距離（DRA）を判断する。ここで、②交差点流出点までの距離（DXA）と④右折車両が移動可能な距離（DRA）の差が正の場合は「通過可能」と判断し、負の場合には「通過不可能」と判断する。すなわち、対向直進車両が交差点に進入するまでに、右折車両が交差点を通過可能な場合には、右折車両は停止挙動を行わず、交差点を通過するようにモデル化した。

（3）駐車車両回避挙動モデル

ここでは、駐車車両回避モデルについて具体的に記述する。現実の都市道路網においては、駐車車両による容量低減は日常的に観測することができる。

このとき、駐車車両を考慮しないモデルでは、区間交

通容量の過大推計となる。一方で、路側帯の駐車車両回避挙動として、車線変更を仮定した場合には、区間交通容量の過小推計となる。このため、本研究では、駐車車両回避挙動として、部分的な車線逸脱を仮定する。特徴的な車両挙動記述の例として、駐車車両回避のための加減速と部分的な車線逸脱について図-7に示す。

本研究では、この駐車車両回避挙動を3段階の過程で構成している。①第1段階は駐車車両への接近段階であり、接近車両は減速するとともに右側に進路を変更する。②第2段階は、駐車車両に対して側方余裕幅を確保しながら、部分的に車線を逸脱し、低速度で走行する。③第3段階は駐車車両を通過する段階であり、車両は元の車線に戻り、追従走行状態に移行する。

本モデルでファジィ推論が適用されている第2段階での走行速度決定プロセスでは、相対距離（RDS）と側方遮蔽幅（LOD）の2種類の要因を考慮して、推論モデルを構成している。これら2種類の要因および加速度のメンバシップ関数を図-8に示す。

相対距離はPVB（非常に大きい）、PB（大きい）、PM（中程度）、PS（小さい）、PVS（非常に小さい）の5段階、側方遮蔽幅はPB（大きい）、PM（中程度）、PS（小さい）の3段階のレベルを想定している。また、双方とも距離が増大するにつれて、認知幅（スプレッド）が増大する。一方、加速度のメンバシップ関数に関してはPB（正值で大きい）、PS（正值で小さい）、ZE（ゼロ）、NS（負値で絶対値が小さい）、NB（負値で絶対値が大きい）の5段階のレベルを設定している。急減速の現象記述を想定して、負の領域でスプレッドを大きく設定している。

つぎに、部分的車線逸脱時の加速度決定のための推論ルールを図-9に示す。前述した相対距離の5段階、側方遮蔽幅の3段階の組み合わせに対応して、15ルールで構成している。相対距離が減少し、また側方遮蔽幅が増大するにしたがって、減速度が増加するようにルールを規定している。たとえば、Rule-10は、「もし、相対距離が大きく、側方遮蔽幅が小さければ、加速度は正で少ない」ことを表している。

このようにファジィ交通挙動モデルを構築し、現実の複雑な状況適応型の車両挙動を表現可能としている。

4. 交通流シミュレーションモデルの検証

ここでは、前章で構築したファジィ交通挙動モデルを組み込んだマイクロ交通流シミュレーション(FLoMiTSiM)のモデル挙動と現況再現性の検証を行う。

(1) モデル挙動の検証

これまでに、経路選択モデル、車線変更モデル、追従

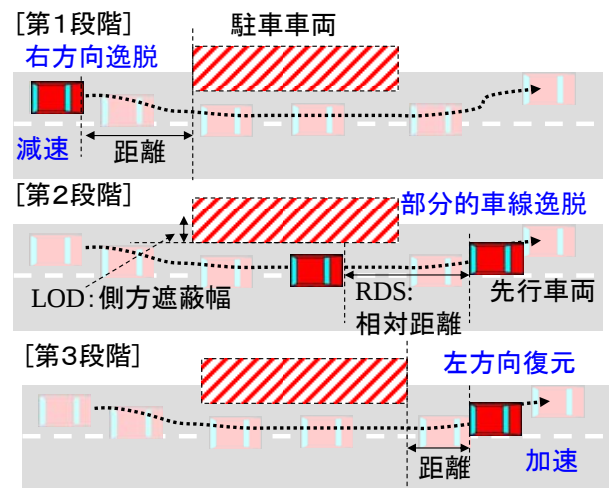


図-7 特徴的な車両挙動記述の例

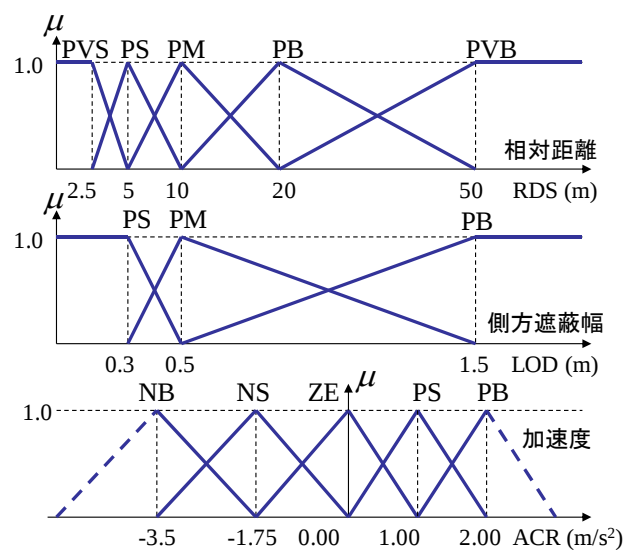


図-8 メンバシップ関数の例

Rule-01: If RDS is PVS and LOD is PS Then ACR is NS
Rule-02: If RDS is PVS and LOD is PM Then ACR is NB
Rule-03: If RDS is PVS and LOD is PB Then ACR is NB
Rule-04: If RDS is PS and LOD is PS Then ACR is ZE
Rule-05: If RDS is PS and LOD is PM Then ACR is NS
Rule-06: If RDS is PS and LOD is PB Then ACR is NB
Rule-07: If RDS is PM and LOD is PS Then ACR is ZE
Rule-08: If RDS is PM and LOD is PM Then ACR is NS
Rule-09: If RDS is PM and LOD is PB Then ACR is NB
Rule-10: If RDS is PB and LOD is PS Then ACR is PS
Rule-11: If RDS is PB and LOD is PM Then ACR is NS
Rule-12: If RDS is PB and LOD is PB Then ACR is NB
Rule-13: If RDS is PVB and LOD is PS Then ACR is PS
Rule-14: If RDS is PVB and LOD is PM Then ACR is NS
Rule-15: If RDS is PVB and LOD is PB Then ACR is NB

図-9 部分的車線逸脱時の加速度決定ルール

挙動モデルについては具体的なモデル挙動の検証結果が報告されている^{18)~21)}。そのため、ここでは、駐車車両回避挙動モデルについて検証を行う。

路側駐車車両を回避する個別車両の車両軌跡について検討する。ここでは、図-2に示す忠節橋通りのバスレーン区間において、7台の車両が40mの区間において路側に駐車している状況での、個別車両の駐車車両回避挙動について推計結果を整理する。この区間では駐車車両により、第1車線が路側より1m遮蔽されているものとする。このため、第1車線を走行する車両は、駐車車両を回避する行動が必要となる。ここでは、例として信号現示1サイクルに相当する8:00-8:02の2分間に、当該区間の第1車線に流入した全50台の車両について、個別車両軌跡のシミュレーション結果を図-10に示す。

全50台の車両のうち、12台(24%)の車両が、第1車線から第2車線に車線変更を行って、駐車車両を回避している。一方で、38台の車両は、部分的に車線を逸脱し、駐車車両を回避している。部分的な車線逸脱は、駐車車両の手前の2.49m~4.23mの区間で開始されている。したがって、駐車車両回避のための車線逸脱開始点は1.74mの区間に分布しており、空間的な広がりをもつ。

つぎに、上記の50台の車両について、当該区間通過時の走行速度の時間変化を図-11に示す。例として、最終通過車両の走行速度変化を区別して表示している。

多くの車両が路側駐車車両の手前10m付近より急激に速度低下を行うことが、シミュレーション結果として得られている。また、路側駐車車両の側方を、部分的に車線逸脱して通過する際に、10km/h~25km/h程度で、走行速度変動がみられる。路側駐車車両による部分的車線遮蔽区域を通過した後では、45km/h~60km/h程度に走行速度が回復する状況が推計できている。このように、個別車両の駐車車両回避挙動を詳細に表現できる。

この結果、駐車車両の影響を受ける道路区間の範囲を明確にし、交通容量減少の分析ができることから、具体的な駐車車両政策の検討が容易になると考えられる。

(2) 現況再現性の検証

ここでは、交通シミュレーションによる交通状況の推計精度について検証する。

図-12に示すように、長良橋通り、忠節橋通りのバスレーン区間では、都心部において路上駐車が観測されている。これらの区間では、駐車車両回避のための部分的な車線逸脱状況がみられる。ここでは、岐阜市の社会実験時における調査結果を参考にして、当該区間の駐車台数などを設定している。また、各車両による側方遮蔽幅(LOD)は、0.5m~1.5mでランダムに設定している。

これらの区間における断面交通量の推計結果を、観測値と比較して図-13に示す。たとえば、断面A(忠節橋通り)では、路上駐車を考慮しないシミュレーション計算では断面交通量は887台の過大推計であり、車線単位の進路変更だけを考慮した計算では、405台の過小推計

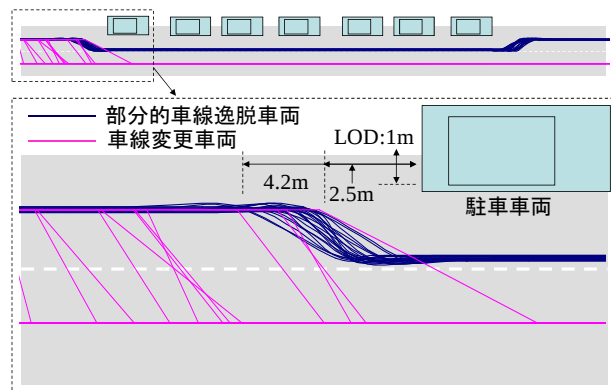


図-10 駐車車両回避車両の走行軌跡の例

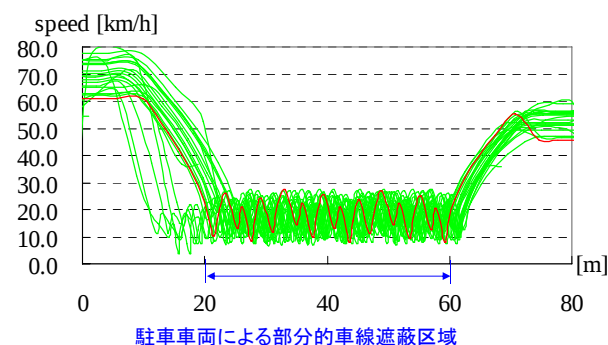


図-11 駐車車両回避車両の走行速度変化

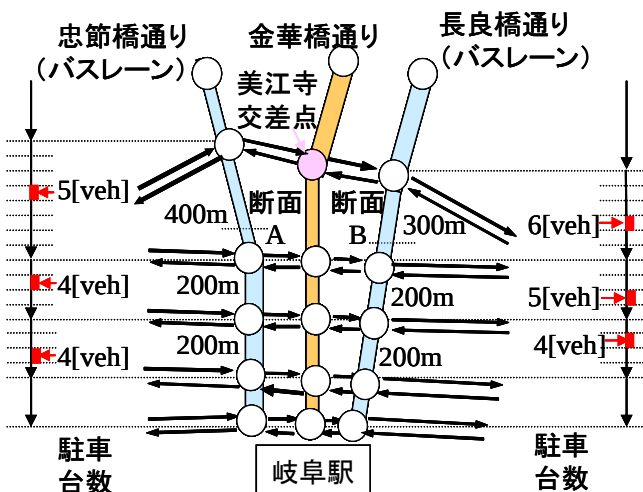


図-12 都心部バスレーン区間における駐車車両の設定

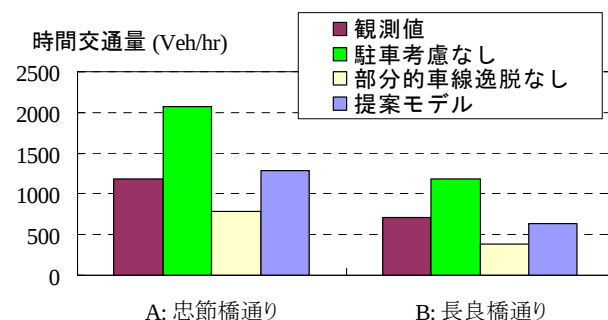


図-13 都心部バスレーン区間における断面交通量

である。図中では提案モデルの推計値が最も実績値に近い。すなわち、ファジィ推論による駐車車両回避挙動モデルを交通流シミュレーションに組み込んだことで、これらの区間の交通量の推計誤差は100台以内に低減したことがわかる。

つぎに長良橋通りのバスレーン対象区間における一般車両の経路所要時間の時間変化を図-14に示す。なお、観測結果は、岐阜市の社会実験直前の平日朝ピーク時に10分ごとに観測されたデータを用いている。

やや過大推計の傾向があるものの、最大誤差3分、RMSE: 1.45分であり、良好な現況再現結果である。

また、本交通流シミュレーションによって渋滞状況の時間的変化や、渋滞のボトルネックの位置、発生時刻、渋滞長を推計することが可能である。ここでは、主要橋梁部分をボトルネックとした渋滞状況の時間変化について検証を行う。実測調査においては、長良橋をボトルネックとして、7:30より渋滞が発生し、最大渋滞長は2.16kmと観測されている。ここで、長良橋北側で観測される渋滞状況の推計結果を図-15に示す。

ここでも観測結果と同様に、7:30より長良橋をボトルネックとした交通渋滞発生が推計されている。また、8:10に最大渋滞長2.14kmと推計され、現況の渋滞状況が適切に表現できている。

つぎに、交差点での停止挙動モデルに関して、個別交差点における滞留長の推計結果における現況再現性について検証する。ここでは、図-12に示す美江寺交差点において、南側からの流入区間を対象とする。当該区間での交差点を先頭としたサイクル別滞留長を図-16に示す。ここでの観測結果は、2006年7月26日にビデオ観測により記録したものを、数値化したものである²³⁾。

個々のサイクルに関しては、数メートル程度の差があり、最大では8:10に12.5mの推計誤差がある。しかしながら、滞留長の増減傾向は的確に表現され、RMSE: 8.25mであり、良好な現況再現結果である。

つぎに、ネットワーク全体の現況再現性について検証する。具体的には平成11年道路交通センサス区間交通量観測値（8時台）を、対象道路網全体に広く分布する観測区間115地点について抽出し、交通シミュレーションによる推計値と比較する。これらの実測値と推計値の分布を示したものが図-17である。

区間交通量の推計誤差(RMSE)は194台である。主要幹線では交通量が若干過少推計されるが全般的には良好な現況推計が可能といえる。

このように、ファジィ理論に基づく交通挙動記述により、現実の複雑な車両挙動の表現が可能となり、推計精度の高いモデルが構築された。

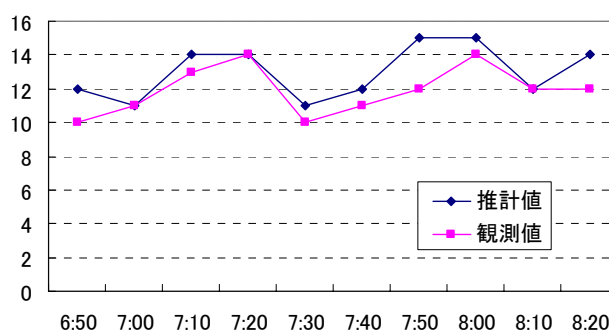


図-14 一般車両走行時間の推計結果

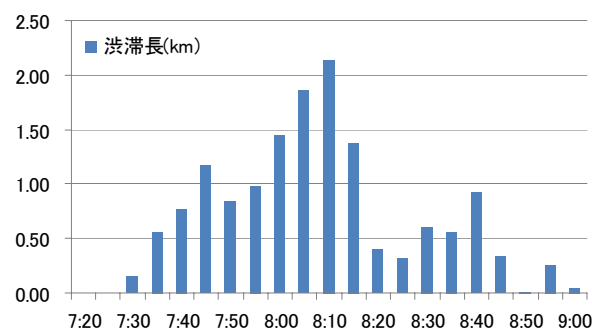


図-15 渋滞状況の推計結果

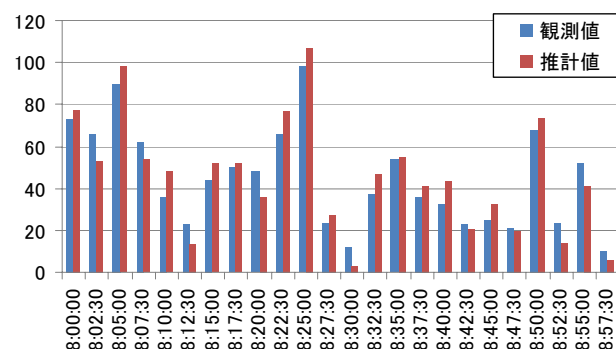


図-16 個別交差点の滞留長推計結果の検証

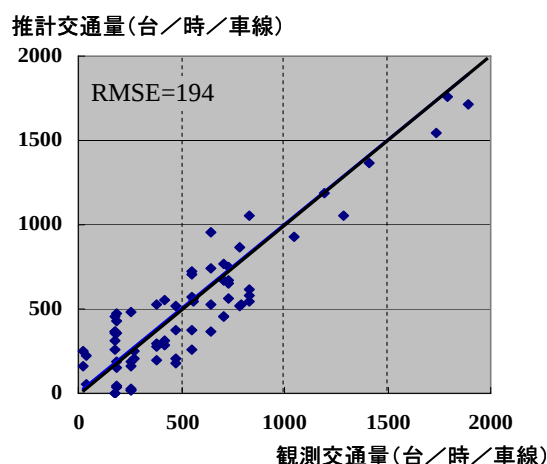


図-17 区間交通量推計結果の検証

5. 都市交通政策の影響分析

ここでは、地方都市における都市交通政策として、バス優先レーン導入および駐車車両規制の複合政策を例として、ファジィ交通流シミュレーション(FLoMiTSiM)による影響分析を行う。

(1) 都市交通政策の設定と評価

岐阜市においては、公共交通機関の利用促進を目指して、市内バス利用についての総合的政策を検討している。本研究では、具体的な都市交通政策として、バス優先レーン導入および駐車車両規制の複合政策を検討する。特に、バス交通政策を検討する場合には、この駐車車両による交通容量低減が大きな問題となる。具体的には、図-2に示したように長良橋通りおよび忠節橋通りにおいて、バス優先レーンを導入し、同時に駐車車両規制を行うものである。バス優先レーン導入区間は、片側2車線の構造であり、このうち第1車線をバス優先レーンとしている。長良橋通りのバス優先レーン導入区間は、長良北町～徹明町の区間であり、区間延長は5.3kmで、4本のバス路線が通過し、13停留所が存在する。これらのバス路線での乗降客数は、ピーク時に約2000人/時であることが報告されている。この区間のバス所要時間は、移動時間および各停留所での停止時間と6箇所の交差点で信号待ち時間の合計となる。

駐車車両規制に関しては、図-12に示した長良橋通りおよび忠節橋通りの都心部の区間において、対象時間において駐車禁止とし、駐車車両を排除するものである。ここで、「都市交通政策なし」の場合には、図-12に示したように、現況再現時と同様に駐車車両が存在するものとして推計を行う。一方、「都市交通政策あり」の場合には、当該区間での駐車車両はすべて存在しないものとして推計を行う。

このときの交通状況を交通流シミュレーションにより推計し、都市交通政策の有無による交通状況の相違について分析する。具体的な推計対象時間は朝ピーク時(7:00-9:00)としている。

都市交通政策の有無により、都市道路網における交通状況の推計結果を比較して表-2に示す。

バス優先レーン導入により、多数を占める一般車両に関しては、車線が規制されるため、バスレーン区間の通過時間は増加する。このため、都市道路網全体の総走行時間は0.21[千台時]増加する。また、最大渋滞長はバスレーンではない第2車線において観測され、0.9[km]増加する推計結果となっている。

一方、バス車両に関しては、バス優先レーン導入および駐車車両規制を同時に行うことで、その運行は円滑になる。具体的には、バス車両の平均走行速度は

表-2 交通状況推計結果の比較

評価指標			政策なし	政策あり
総走行台時		千台時	26.37	26.58
最大渋滞区間長		km	26.40	27.30
バス	平均速度	km/時	28.01	28.72
	OD間所要時間(福光東→岐阜駅)	分	30.30	17.30
	区間所要時間(市役所前)	分	10.80	7.00

0.71[km/hr]上昇する。また、バス優先レーン区間を含む福光東～岐阜駅間の経路(長良橋通り)では、バス車両の所要時間が13分短縮される。このなかで、特に市役所前の区間ではバス車両の所要時間は3.8分の短縮となっている。これらの指標は、部分的な車線逸脱を考慮しないモデルではいずれも過大推計となる。すなわち、提案モデルの有効性を示す結果となっている。

(2) 都市交通政策による個別車両挙動への影響分析

つぎに、都市交通政策の有無による個別車両挙動について比較する。都市交通政策の有無による比較として、着目車両(バス)の走行軌跡を図-18に示す。

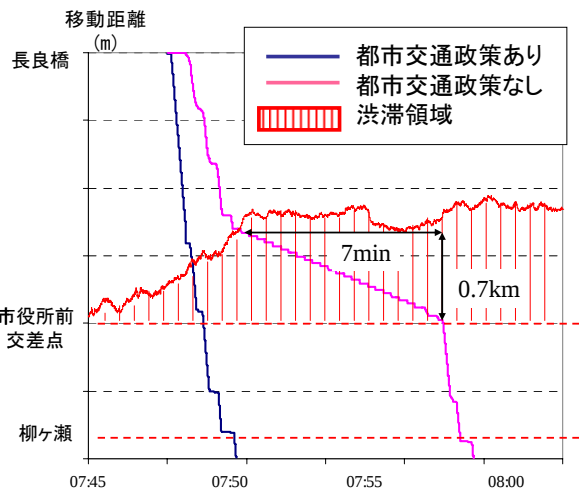


図-18 個別車両軌跡

現行のバス運行状況としては、市役所前交差点を先頭とした700mにおよぶ渋滞が発生し、対象車両は渋滞区間において7分間走行することになり、相当の時間損失が発生している。

一方、ここで提案する都市交通政策を実施する場合には、バス優先レーンおよび駐車車両規制により、市役所前交差点を先頭とした渋滞は発生しない。このため、対象車両は当該区間において円滑な進行が可能となる。

このように、都市交通政策の有無による個別車両挙動の相違を明確に比較することが可能である。すなわち、都市交通政策に対して、統計的な指標、個別車両の運用の両側から評価できる。これより、都市交通政策の総合的な評価に加えて、局所的な交通処理の問題点を把握することができる。

6. おわりに

本研究では、都市交通政策評価のため、都市道路網を対象としたファジィ理論に基づくマイクロ交通流シミュレーション(FLoMiTSiM)の構築を行った。ここでは、①追従挙動、②車線変更挙動、③路側障害物回避挙動および④経路選択行動を、ファジィ推論を用いて記述するとともに、⑤車両発生、⑥走行車線選択、⑦信号による停止挙動および⑧公共交通車両挙動を記述する各モデルを統合し、道路交通シミュレーションを開発した。これより、道路ネットワーク上の自動車交通と公共交通との相互の影響により複雑に変化する交通状況を推計可能となった。また、連続的な運転者の判断を、ファジィ推論により記述することで、現実の交通解析に適用可能な推計精度をもつ交通シミュレーションモデルが構築できた。これより、都市交通政策のインパクトについて、広域的な交通流動への影響把握が可能とするとともに、局所的には詳細な交通現象分析を可能としている。本研究で得られた成果は、以下のように整理できる。

- ① 運転者の判断要因の認知のあいまいさに基づく現実の複雑な車両挙動を表現するために、5種類の「ファジィ交通挙動モデル」を構成し、モデル化の意義を整理した。これより、運転者の状況認知のあいまい性を考慮した現実的な車両挙動の表現が可能となった。
 - ② 都市交通政策評価のために、ファジィ理論に基づいて、個別車両の移動を記述するネットワーク交通流シミュレーション(FLoMiTSiM)を構築した。これより、現実的な運転者認知と判断のメカニズムが明確化されるとともに、実測データとの比較により、影響分析の妥当性が統計的に検証された。
 - ③ 都市交通政策の有無に関してファジィ交通流シミュレーションを用いて、個別車両についての影響分析を行った。ここでは、バス優先レーン導入と駐車車両規制の複合政策の有効性が検証された。
- また、具体的な都市交通政策決定への適用のため、今後の検討課題として、以下の点が挙げられる。
- ① 総合的な都市交通政策評価のために、総走行時間などのマクロな交通評価指標だけでなく、個別車両の動向を踏まえた都市交通政策の評価指標を整理することが必要である。
 - ② 公共交通政策により、公共交通利用が促進され、自動車利用者の転換が図られることが考えられる。したがって、交通機関選択行動を内包した需要変動型交通シミュレーションの構築が必要である。
 - ③ ここでのバス優先レーン導入だけでなく、パークアンドライドなどの各種対策を含む総合的な公共交通政策の検討のため、自動車以外の交通流動も

含めた交通流動解析が必要である。

最後に、マイクロ交通シミュレーションに関して、ファジィ理論の適用の意義は以下のように整理できる。

- ① 運転挙動に関する判断要因は、運転者にあいまいに認知される。また、運転操作に関しても、運転者の判断では、厳密な数値ではなく、あいまいな情報として身体に伝達されていると考えられる。このように、入力・出力ともにあいまいな情報処理が必要となる運転者の判断を、現象に忠実に記述するためには、ファジィ理論の適用が最も適当である。
- ② 運転挙動における運転者の判断は、非常に多くの判断要因に対して、動的な変化を考慮に入れながら、複数の行動意図を総合的に判断し、連続的、かつ、戦略的に意思決定を行うものである。このような大変複雑な情報処理を関数型モデルで構成する場合には、非常に複雑な構成を検討する必要がある。ファジィ推論ではこのような複雑な情報処理を、言語によるルールによって検討することができ、かつ、試行錯誤的にモデル構成を行うことが可能である。

参考文献

- 1) Hidas, P. : Modelling lane changing and merging in microscopic traffic simulation., Transportation Research Part C, 10, pp. 351-371, 2002.
- 2) Algers, S., Bernauer, E., Boero, M., Breheret, L., Di Taranto, C., Dougherty, M., Fox, K., and Gabard, J. : Review of micro-simulation models, SMARTTEST Project, Deliverable D3, Leeds, UK., 1997.
- 3) Yang, Q. and Koutsopoulos, H. S. : A microscopic traffic simulator for evaluation of dynamic traffic management systems, Transportation Research Part C, 4(3), pp. 113-129, 1996.
- 4) Barcelo, J. and Casas, J. : Dynamic network simulation with AIMSUN, Proc. of International Symposium on Transport Simulation, Yokohama, Japan, 2002.
- 5) Liu, R., Van Vliet, D and Watling, D. : Microsimulation models incorporating both demand and supply dynamics, Transportation Research Part A, 40, pp. 125-150, 2006.
- 6) Wu, J., Brackstone, M. and McDonald, M. : Fuzzy sets and systems for a motorway microscopic simulation model, Fuzzy Sets and Systems, pp. 116, 65-76, 2000.
- 7) Quadstone Paramics Ltd., <http://www.paramics-online.com/>
- 8) PTV Ltd. , <http://www.english.ptv.de/>
- 9) Horiguchi, R., Kuwahara, M., Katakura, M., Akahane, H. and Ozaki, H. : A Network Simulation Model for Impact Studies of Traffic Management, 'AVENUE Ver.2', Proceedings of the 3rd World Congress on Intelligent Transport Systems, CD-ROM, 1996.

- 10) 吉田豊, 坂本邦宏, 久保田尚: 交通シミュレータ内における個人の走行経験蓄積を考慮した経路選択モデルの交通シミュレーションへの適用, 土木計画学研究・論文集, Vol.19, pp.533-540, 2002.
- 11) 森津秀夫, 木村文彦: L R T導入に伴う交通計画再検討支援ツールの開発, 土木計画学研究・講演集, No.23 (1), pp. 515-518, 2000.
- 12) 中村英樹, 鈴木一史: 街路ネットワーク交通流シミュレータ INSPECTOR の開発と駐車料金施策評価への適用, 交通工学, Vol.39, No.4, pp.72-83, 2004.
- 13) 北村隆一(編著), 飯田恭敬(監修): 交通工学, オーム社, 2008.
- 14) Brackstone, M. and McDonald, M.: Car-following : a historical review, Transportation Research Part F, 2, pp. 181-196, 1999.
- 15) Chakroborty, P. and Kikuchi, S.: Evaluation of the General Motors based car-following models and a proposed fuzzy inference model, Transportation Research Part C, 7, pp. 209-235, 1999.
- 16) Kikuchi, S., Uno, N. and Tanaka, M. : Impacts of Shorter Perception-Reaction Time of Adapted Cruise Controlled Vehicles on Traffic Flow and Safety, Journal of Transportation Engineering, ASCE, Vol. 129, No. 2, pp. 146-154, 2003.
- 17) 大口敬, 越正毅, 桑原雅夫, 赤羽弘和: ファジィ推論を用いた車両の追従挙動モデル, 土木計画学研究・講演集, No.13, pp. 221-228, 1990.
- 18) Errampalli, M., Okushima, M., Akiyama, T.: Microscopic Simulation Model Considering Public Transport Policy, Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies, pp. 2718-2733, 2005.
- 19) Errampalli, M., Okushima, M., Akiyama, T. : Evaluation of Public Transport Policy by Microscopic Simulation Model, Infrastructure Planning Review, Vol. 23, No. 4, pp. 945-953, 2006.
- 20) Errampalli, M., Okushima, M., Akiyama, T. : Fuzzy Logic based Lane Change Model for Microscopic Traffic Flow Simulation, Journal of Advanced Computational Intelligence & Intelligent Informatics, Vol.12/No.2, pp. 172-181, 2008.
- 21) Errampalli, M., Okushima, M., Akiyama, T. : Fuzzy Logic based Car-following Model for Microscopic Traffic Simulation on Urban Road Network, Proceedings of the 6th ITS Symposium 2007, CD-ROM, No.P1-16, 2007.
- 22) 水本雅晴: ファジィ制御の改善法(IV) (代数積—加算—重心法による場合), 第6回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.9-13, 1990.
- 23) 松田祥吾, 奥嶋政嗣, 秋山孝正: 交差点の実態調査に基づく交通動態解析に関する方法論的検討, 土木計画学研究・講演集, Vol. 36, CD-ROM, 2007.

都市交通政策評価のためのファジィ理論に基づくミクロ交通流シミュレーションの構築*

奥嶋政嗣**・秋山孝正***・エランパリマデュー****

これまでに、都市道路網を対象としたいくつかの交通流シミュレーションモデルが提案されている。ここで、地方都市の都市交通政策評価においては、自動車交通およびバス交通の相互の影響による複雑な作用を表現する必要がある。特に、各ドライバーの主観的な認知および運転操作に対応した車両挙動記述が必要となる。本研究では、都市道路網を対象として個々の車両移動を表現する交通流シミュレーションモデルをファジィ理論に基づいて構築する。ここで、追従挙動、車線変更、経路選択および駐車車両回避挙動など、すべての車両挙動について、ドライバーの認知および運転操作におけるあいまい性を考慮したモデル記述を行う。このように、あいまい性を考慮することで、各種の複雑な車両挙動を分かり易く表現できる。これより、都市交通政策評価のために、ファジィ理論に基づいて都市道路網の交通流シミュレーションを構成することの有効性が提示可能となる。

Fuzzy Logic Based Microscopic Traffic Simulation for Urban Transport Policy Evaluation *

By Masashi OKUSHIMA**・Takamasa AKIYAMA***・Madhu ERRAMPALLI****

Some microscopic traffic simulations on urban road network are developed up to now. Hence, the effect of urban transport policy in the local city is influenced with the complex interaction of automobile traffic and bus traffic. Particularly, behaviour of vehicles should be described with the subjective recognition and operation of drivers. In the study, the fuzzy logic based microscopic traffic simulation model on urban road network is constructed for evaluation of transport policy. The vehicle behaviours such as car following, lane changing, route choice and steering clear of parking are described easily with the fuzziness of recognition and operation of drivers. Therefore, it is helpful for evaluation of transport policy that the fuzzy logic based microscopic traffic simulation is constructed.
