

University Academic Repository

道路交通システムを対象とする新たなシミュレーション方式

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2002-12-20 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 滑川, 光裕, ナメカワ, ミツヒロ, Namekawa, Mitsuhiro メールアドレス: 所属:
URL	https://kaetsu.repo.nii.ac.jp/records/62

道路交通システムを対象とする新たなシミュレーション方式

滑 川 光 裕

〈概 要〉

近年の急激なコンピュータの性能向上により、様々な分野でコンピュータによる情報処理の適用範囲が広がり、それとともに計算量の多い複雑な処理が求められるようになってきた。

システムシミュレーションの分野においても、この処理能力を生かすような、より複雑で精度の高いモデルの構築を行い、高品質なシミュレーション結果を求めるようになってきた。

特に、道路交通シミュレーションは、精度を高め、結果の信頼性が高まれば、交通工学としての渋滞解析の問題だけではなく、社会活動における重要な要素の一つである道路交通が経済や環境に与える影響を調べることができると期待される。

しかしながら、実世界の現象をモデル化することは非常に難しく、特に初期の道路交通シミュレーションでは、土木工学における交通容量やそれによる道路設計のための利用が主であったために、モデルの記述も非常に大まかであり、大きな発展を見ることはできなかった。

1990年に、産学協同のMITRAM研究プロジェクトが発足し、従来の土木工学（交通工学）の見地をふまえながら、データベース理論、ファジィ理論、ニューラルネット理論、並列処理理論など、情報工学的なアプローチ総合して研究・開発が進められてきた。これにより、詳細でかつ、現実的な道路交通シミュレーションシステムの構築が可能となった。

本論文では、MITRAMによって提案された新たな道路交通シミュレーションの手法について述べるとともに、今後の新たなシミュレーションへ応用できる最新技術への可能性・他分野への応用についても言及する。

〈キーワード〉

システムシミュレーション、道路交通、交通工学、データベース、ファジィ理論、ニューラルネット理論、並列分散処理

1. はじめに

コンピュータの急速な発達、その計算能力を飛躍的に高め、様々な分野における適用を可能とした。システムシミュレーションの世界でも、その能力を生かす様々な研究が行われるようになった。例えば、シミュレーション処理を短時間にこなすことができるようになり、実験モデルとしてのシミュレーションをパラメータを変えて実験を繰り返すことで、モデルの最適化を図ることができるようになった。あるいは、大規模かつ複雑なモデルのシミュレーションであっても、詳細なシ

ミュレーション結果を得られるようになった。これにより、将来に予測される事態を前もって把握し、初期パラメータを変更してシミュレーションを行うことで、将来に起こりうる事態に対する最適な対応を探ることができる。

道路交通シミュレーションは、高性能なコンピュータを生かして現象解析を行う重要な分野である。しかしながら、システムシミュレーション全般に言えることであるが、いかに高性能なコンピュータが利用できても、そのモデルの信頼性が高くなければ、シミュレーション結果は意味をなさない。

道路交通シミュレーションを見たときに、様々な幅員・形状の道路が存在している。さらに、その道路の上を走行する自動車の種類や運転特性も様々であり、それぞれが影響しあって道路交通現象が起こる。そのため、道路交通シミュレーションを構成する各々の要素についての分析を行い、精細なモデルを構築しなければ、高品質なシミュレーション結果を得ることはできないのである。

1990年に発足したMITRAMプロジェクトでは、高品質なシミュレーションシステムを提供するために、様々な情報技術の投入を行い、道路交通シミュレーションを実用に耐えるレベルにまで研究・開発を行ってきた。本論文では、その研究成果を報告すると同時に、より高品質なシミュレーションのために必要となる理論・技術について述べる。

2. 道路交通シミュレーションについて

2.1 道路交通シミュレーションの技術的動向

渋滞をはじめとする道路交通解析のために、コンピュータによる道路交通シミュレーションが行われている。道路交通を解析するためには、交通流を流体として捉え、その大まかな流れで処理を行う巨視的モデルによるものと、自動車1台ごとの振る舞いから処理を行う微視的モデルによるものが存在する。巨視的モデルによるものは、高速道路や比較的幅の広い道路環境では十分である。しかし、駅前や繁華街などの市街地での交通流では、個々の自動車の振る舞いが他の自動車に与える。そのために、個々の自動車の影響が全体の交通流に変化を与えるのである。渋滞をはじめとする道路交通問題は、このような個々の自動車が市街地与える影響、例えば駐車車両や駐車場への待ち行列などについて、自動車どうしの影響を考え、解決するための方策を思考する必要がある。

しかし、これまでの多くのシミュレーションでは、交通容量と道路設計に関連したものであり、土木工学の一分野である交通工学からのアプローチであった^{[18][21]}。また、これらのほとんどは巨視的モデルによるものであった。そのために、モデルが非常に荒く、シミュレーション結果も大まかな目安程度としてしか利用できないものであった。

そこで、道路交通シミュレーションの発展・普及のためには、情報工学からのアプローチが必要であった。システムシミュレーション分野からのアプローチでは、道路を主体として見るのではなく、道路上を走行する自動車の振る舞いから分析し、道路や自動車、歩行者など、それぞれを切り離したオブジェクトとして考えることが出来る^[3]。このオブジェクト指向のシミュレーションの考えにより、静的要素としての道路を一つのデータベースとして表現したり、自動車・歩行者の動きを詳細に表現できるようになり、より現実に近い動きを表現することが可能になった。

2.2 MITRAM研究プロジェクト

MITRAM (“road traffic simulation system with Microscopic model for analyzing TRAffic jaM” 研究プロジェクトは、渋滞解析を目的とした微視的モデル道路交通シミュレーションシステムを研究・開発する目的で1990年に発足し、工学系（工学部）大学・大学院と信号機メーカー、ソフトウェア会社など、産学共同による研究グループである。微視的モデル道路交通シミュレーションの研究が十分に行われていなかった時代から、渋滞解析を目的としたシミュレーションシステムの研究・開発を行ってきた。そこでは、ファジィ理論やニューラルネットワークによる自動車運転モデル、データベース理論やクロソイド曲線などの理論・技術を導入することでモデルを現実近づけ、今までの考えとは違った観点からシミュレーションのシステムを構築するねらいがあった。さらに、ファジィチップの制作や並列システムの研究など、シミュレーション処理速度向上についても研究・開発を行うことで、高精度のモデル構築をはじめとし、大規模かつ複雑な道路交通シミュレーションにも対応できる次世代のシミュレーションシステムの研究・開発を行ってきた。

3. 従来の道路交通解析システム

道路交通を対象としたシミュレーションシステムでは、巨視的なものから微視的なものまで、様々なものが存在している。その中で、米国で開発されたNETSIMは、パーソナルコンピュータ上でも稼働することから、幅広く利用されてきた。

それらの多くのシミュレーションは、道路を一つのグラフとして定義し、ノードとアークによって道路の接続形態を表現している。そして、個々の自動車は、このアークの上を方程式による加減速や条件判断による分岐処理などを行うことになる。この方式では、渋滞に結びつく道路構造の細部を記述しようとする、ノードの数がかなり多くなってしまう傾向がある。また、個々の自動車の振る舞いの記述にも問題がある。特に、道路交通シミュレーションシステムの大きな役割である渋滞解析を行うためには、道路の幅だけでなく、道路の法規的な属性（駐停車禁止、右左折の禁止など）、自動車や運転者の特性などにも考慮する必要があり、それらの情報も保持する必要がある。

また、道路交通シミュレーションシステムのモデルにおいて、よく提案される方式の一つとしてブロックあるいはメッシュ型がある。最近では、シミュレーションの並列処理のためにメッシュ型を提案する論文なども見られる^[5]。メッシュ型の場合、道路としてのメッシュのつながり具合の表現が一つの問題となる。その解決手段として、ペトリネットやセルラーオートマトンなどによるものが一般的である。しかし、メッシュ型の記述で交通シミュレーションシステムとしての精度を上げようとするのであれば、一つのメッシュに対して自動車1台を納めるか、複数のメッシュを使って自動車位置を表現する必要があるが出てくる。ここまで細かいメッシュを使えば、市街地での駐車車両や歩行者回避などの細かいシミュレーション記述が可能となると思われるが、メッシュ上を移動する自動車の位置の計算やその接続形態なども計算しないとならないことを考慮すると、莫大な計算量となり、広域なシミュレーションモデルを構築する手法として現実的とはいえない。

このように、これらの比較的新しい道路交通シミュレーションの実現手法（特に自動車モデル）にも様々な問題があり、MITRAMでは、その解決方法を提案した。

4. MITRAMのシステム

MITRAMでは、前章で述べたいくつかの問題を解決する手段として、道路モデルをオブジェクト化する方法を考えた。道路構造と運転モデルを完全に切り離し、動的な運転モデルが静的な道路構造を参照することにした。しかし、道路構造は完全な静的モデルではなく、障害物回避や車線変更時に必要となる臨時レーンが必要となり、それを動的に提供できるデータベースシステムの構築を行った。この仕組みにより、自動車のハンドル部分を道路データベースに任せることができる。運転走行モデルを一次元化した単純なものとする事で、アクセル（ブレーキ）操作を独立して考えることができる。ハンドルとアクセルを切り離して考えることができるようにすることで、運転者モデルを詳細に分析し、忠実に表現しようとするものである。

4.1 道路データベース

MITRAMでは、渋滞道路の状況を出来るだけ忠実に表現できる微視的モデルを採用しており、それに見合った道路構造の詳細な記述のできる道路データベースの構築を行った^{[32][45]}。本データベースでは、現実の道路構造からの入力という点からも考えられている^{[17][35][49]}。そして、本データベースでは、自動車走行のための道路を、直線、円、クロソイド曲線の組み合わせにより表現しており、正確にモデル化することができるようになっている。クロソイド曲線は、等速時にハンドルを一定角速度で回したときに描かれる曲線であり、道路設計によく利用されている。

まず、この道路データベースの主体となっている走行レーンの位置づけについて述べる。本データベースでは、道路全体を交差点部分と交差点以外の道路部分に分けている。そして、道路や交差点内には、自動車が走行するための走行レーンが設定される。図1は、道路と交差点およびその内部に存在する走行レーンとの関係を表している。

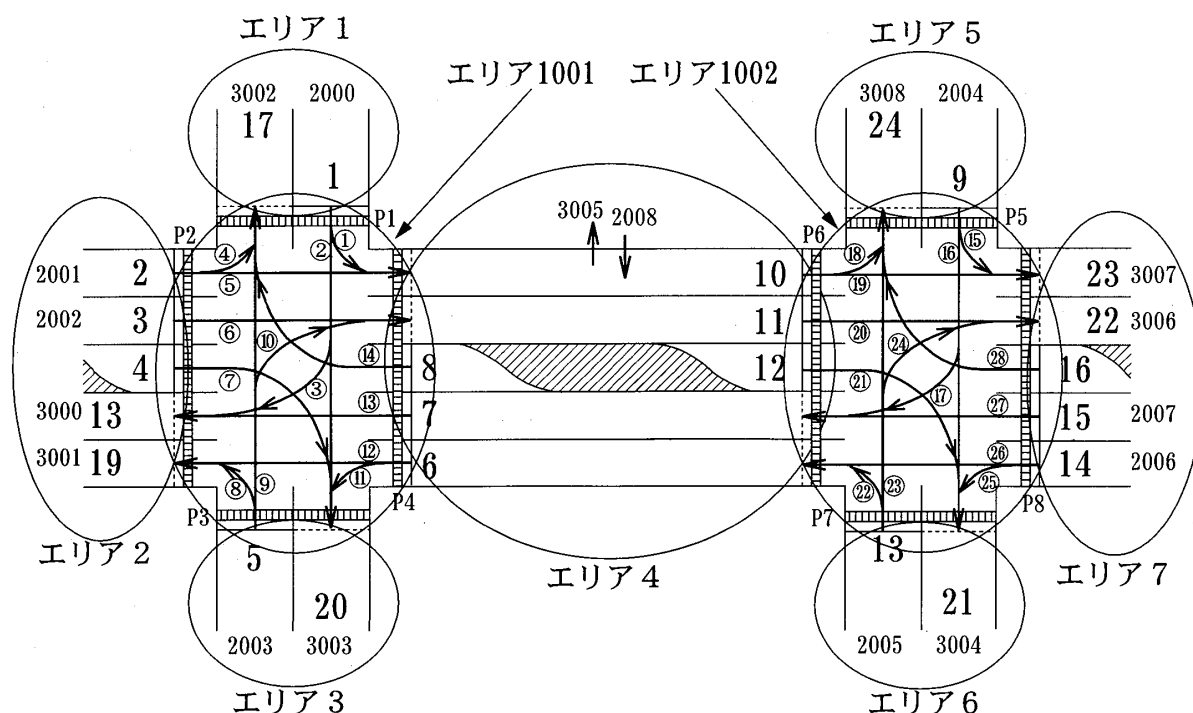


図1 道路および交差点内走行レーンとの関係

また、障害物回避や車線変更時に必要となる臨時レーン生成のために隣接レーン同士の情報も保持している。さらに、道路構造の大まかな把握や道路データ入力にも考慮した構造となっている。

このデータベース構築における重要な点として、

- 1) M I T R A Mでは、レーン走行概念が採用されており、運転操舵として現実的な情報表現が必要となる。
- 2) 道路要素として重要なものとして道路と交差点があり、それらの属性の記述が必要となる
- 3) 分けられた道路と交差点の接続に対するレーン走行概念の一貫した記述が必要となる。
- 4) レーン上を自動車が走行する際に必要となる情報の記述が必要となる。

以上の点をふまえ、図2のような道路データベースのもととなる地域データベースを構築した。地域データベースは、日本全国道路の一部として抜き出したものであり、全国地図からの位置に関しても地域データベース内に記述される。

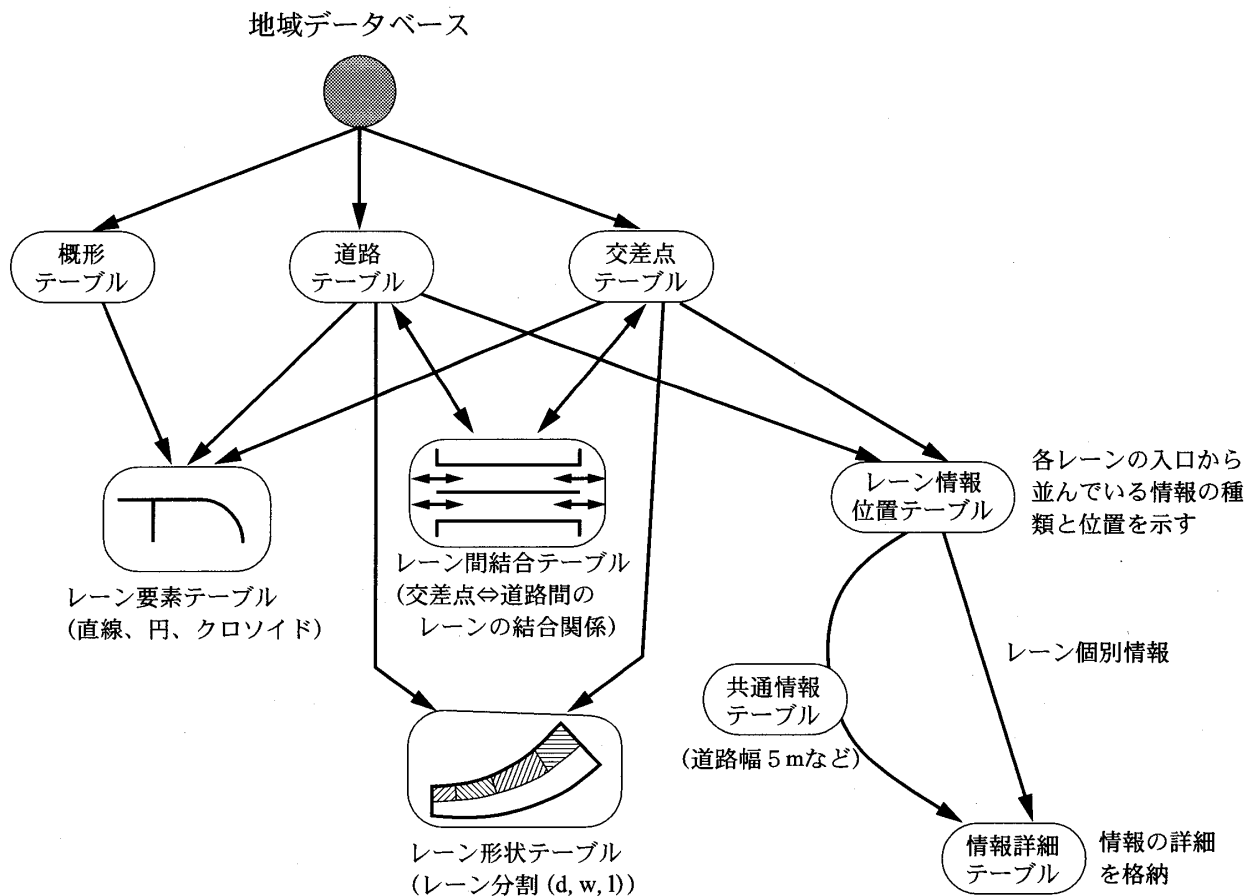


図2 地域データベース

なお、上記の各項目に関する本研究における対応は、以下の通りである。

- 1) 円・直線・クロソイドによって走行レーンを表現することで人間の運転操舵に忠実なレーンが実現されている。走行レーンだけでなく、道路や交差点形状においてもこれらの要素が利用されている。
- 2) 道路・交差点テーブルの作成を行った。そして、この2種類のテーブルは、木構造として枝分かれして情報を格納するのではなく、さらに細分化された要素に関するテーブルを共通

して参照することにより、道路と交差点を同じように扱うことができるようになっている。例えば、道路全体の要素を把握するためのレーン要素テーブル（図3）が用意されている。これは、道路と交差点を含めたレーン要素の参照を行えるものであり、道路テーブル・交差点テーブルのほか、道路や交差点を含めた大まかな道路全体のデータである概形テーブルからも参照できる。

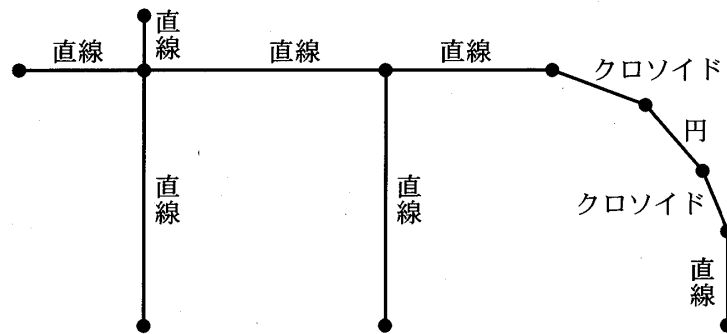


図3 レーン要素テーブル

- 3) レーン間結合テーブルを構築することで自動車は、道路・交差点の区別なく、レーンだけをたどって走行していくことが可能となった。こちらについても、道路テーブルと交差点テーブルの両方からたどることができるようになっている。
- 4) レーン内の情報とその情報の存在するレーン始点からの位置を示す情報詳細テーブル（図4）が用意されている。情報詳細テーブルは、道路に関する速度規制や標識などのほか、レーン形状の詳細（道路幅・曲率など）も含まれており、この情報を参照することにより、運転者の意志決定を行うことができる。

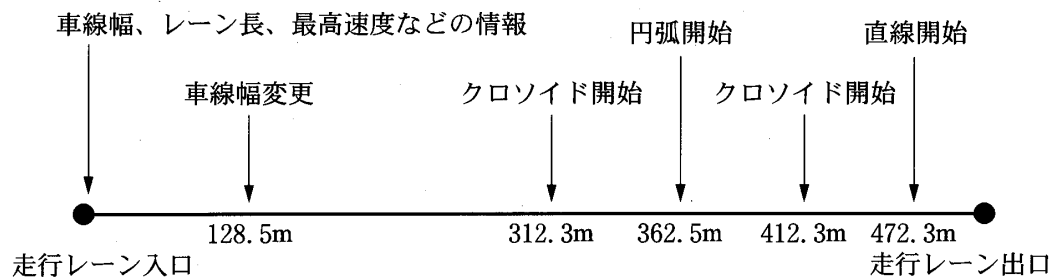


図4 情報詳細テーブルの例

このほか、信号データベース、発生データベースも用意されている。

信号データベース（図5）では、単独信号としてのスプリット（青信号の時間割合）情報のほか、右左折直進の専用信号に関する情報なども用意されている。また、時間都市の道路における信号制御ではよく使われている系統信号制御への対応を信号グループとして複数の信号を関連づけ、オフセット情報も持っている。さらに、感知器情報に関しても、その位置や関連情報を格納できるように設計されている。

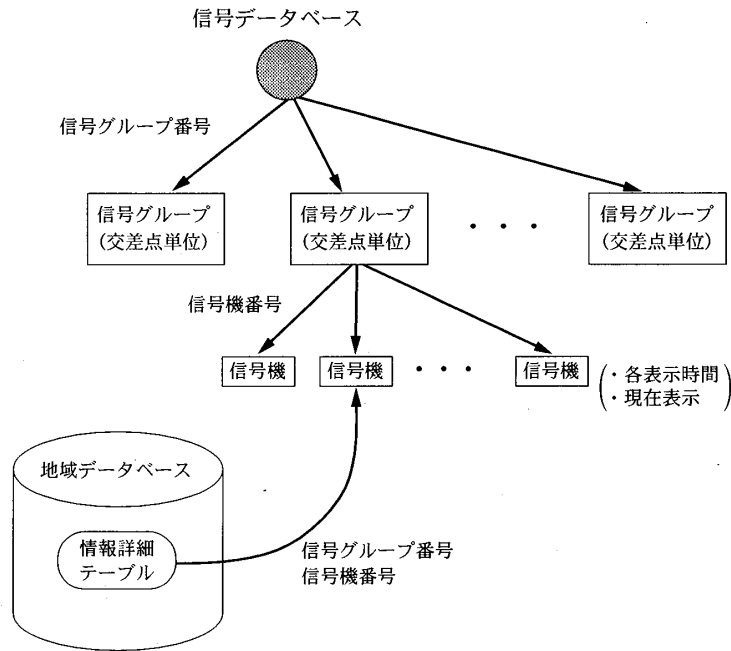


図5 信号データベース

発生データベースを図6に示す。道路交通シミュレーションシステムでは、駐車場やバスターミナルなどからの自動車発生処理だけでなく、消滅処理もしなければならない。自動車は、発生する際に、その大きさ（車種）、自動車性能、運転者特性などの属性を持ち、特定の識別番号を与えられる。そして、消滅地点に到達すると、識別番号を利用不可状態にし、その自動車のシミュレーション処理をしないようにする。この識別番号を元に、地点間のトリップタイム（旅行時間）の計測も行うことができる。

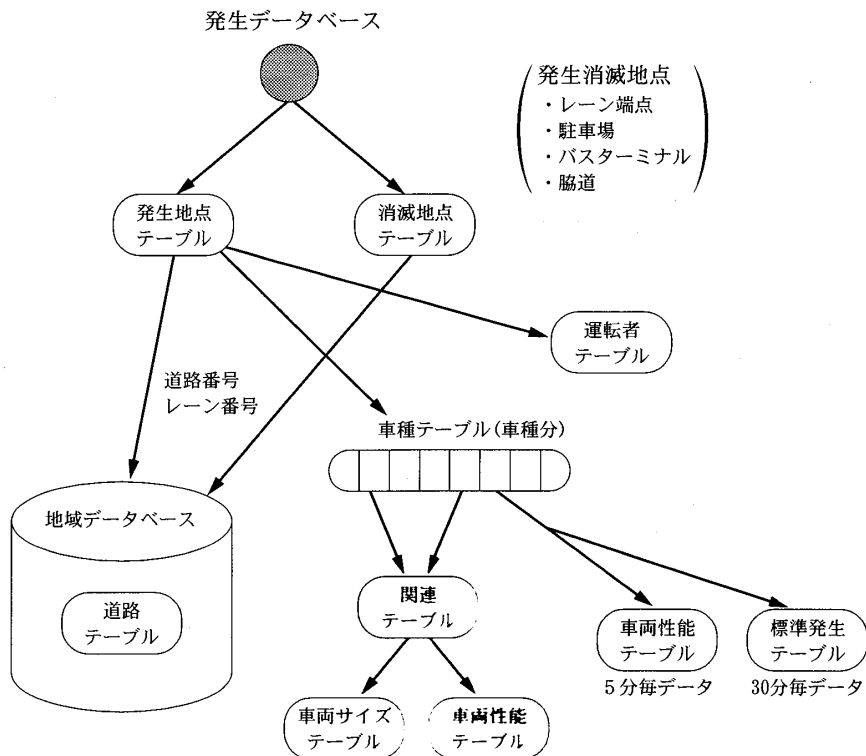


図6 発生データベース

以上、これらによって現実の道路に関する情報をデータベースとして格納している^[45]。

4.2 自動車走行モデル

MITRAMでは、渋滞の激しい吉祥寺において、計測器を積んだ自動車を走行させたり、ビデオカメラで撮影するなど、様々な道路状況を調査・解析することにより、自動車走行が非常に多くの要因によって影響を受けていることを突き止めた^[33]。

これらの調査などから考えられる自動車が影響を受ける道路環境を表1に示す^[7]。

表1 自動車が影響を受ける道路環境

追従走行条件に関係するもの
前車速度、前々車種、前車位置、前々車速度、自車速度、加減速性能
独立走行条件に関係するもの
(道路形態に関係するもの)
車線幅、カーブ曲率、法定速度、路面上障害、上下坂度、道路幅
(個々の自動車に関係するもの)
車幅、旋回性能、速度遵守度、障害回避性能
停止条件に関係するもの
停止前車、一時停止、合流、車線変更、信号状態、横断歩行者、横断レーン自動車
すべての条件に関係するもの
天候、明るさ、緊急度、慎重度、熟練度、車種用途、視界

多くの道路交通シミュレーションシステムでは、追従運転のみに運転要因を決定させているために、現実とは異なったモデルでのシミュレーション処理をしている可能性が高い。しかしながら、これら多くの要因を元に現実の運転者の意志決定に近い運転モデルを従来の方程式によって実現することは、非常に難しい。そこで、MITRAMでは、ファジィモデル自動車(FMV)といわれるファジィ演算を利用した運転モデルにより、シミュレーションを行っている^{[1][10][11]}。

このファジィモデル自動車は、図7に示すような多段二項ファジィ論理を導入し、自動車における各種拘束条件を、独立走行条件、追従走行条件、停止条件の3種類の条件に系統的に分類し、その中から最大減速、最小加速を起こす条件によって、アクセル、ブレーキ操作を決定する効率的な論理構成となっている^[8]。

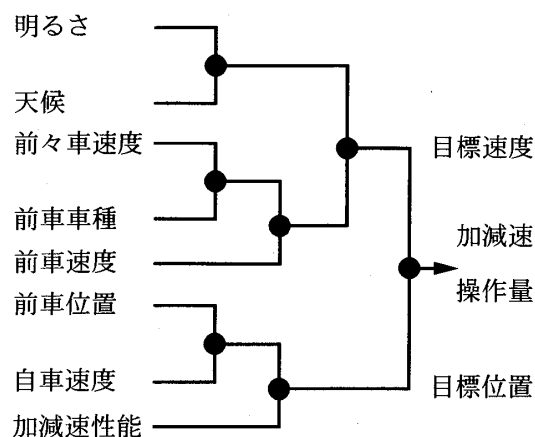


図7 多段二項ファジィ論理の例

ファジィモデル自動車では、二項論理のメンバーシップ関数をどのように決定するかが大きな問題となる。基本的には、実際の自動車走行データから決定するのであるが、この作業に多くの時間と労力を費やすことは非効率的であり、そのために、このメンバーシップ関数を自動的に決定するための様々な方法についても提案してきた^{[8][9]}。MITRAMでは、メンバーシップ関数を実走行データから自動的に決定できる手段として、ニューラルネットを用いた手法も提案している。

また、より現実に近いファジィモデル作成のために、追従運転シミュレーション中に実測データと比較して修正をかけながら走らせ、その結果を考慮して再学習させ、より人間の感覚に近い走行を実現するような「規範シミュレーション」についての研究も行っている^[36]。

道路交通シミュレーションシステムでは、人間の意志決定手段を忠実に表現することで、信頼性の高い構築が可能となるだけに、その他にも、運転モデルの評価方法に関する方法^{[10][12][46]}や多くのデータから運転モデルを構築する方法^{[11][47]}など、MITRAMでは幅広い研究を行ってきた。

4.3 並列シミュレーション

MITRAMの研究を進めていくうちに、道路交通シミュレーションシステムを構築する上で、その実行時間が重要な問題であることが分かった。コンピュータ自体は、年々発展し、高性能化しつつあるが、それでも道路交通シミュレーションの現象を解析するためのシステムを構築するためには、前節で述べたように非常に精度の高い運転モデルが要求される。また、シミュレーションを行うエリアに関しても、より広範囲におけるものが求められることが分かった。

MITRAMでは、この問題解決のための一つの方法として、運転モデルを実現するためのハードウェアを作成する方法についても早くから提案してきた。このFMVをハードウェア化するための手法では、試作実験において少なくとも数千倍もの速度向上が望めることが分かっており、実現すれば、システム構成上においても大きなアドバンテージとなる^[2]。しかしながら、ハードウェア化にはコストと時間がかかり、作成後はソフトウェアと違って、大がかりな変更作業が不可能になるという欠点も存在する。

そこで、ソフトウェア設計を主体に効率の良いシミュレーションシステムを構築するための手段として、並列シミュレーションが考えられる^{[39][40][42]}。並列シミュレーションは、そこで行われる計算処理のみに着目して複数のプロセッサに振り分ける方法と、シミュレーションモデルに着目し、モデル全体を切り分けて各プロセッサに分割する方法が考えられる。前者の方式では、従来から気象・航空などの流体分野でシミュレーションの計算処理をスーパーコンピュータに行わせるという方法がある。MITRAMにおいては、シミュレーション自身が持つモデル特性を生かしながら並列処理を行うことで、より効率の良いシミュレーションができる方法を行うことにした。特に、この方式では、道路や鉄道などのネットワークフロー型モデルでは有効である。並列化するために分割された地域間での同期処理において、トランザクションの地域間移動を「転移」と定義し、その転移を予測(図8)して効率良く同期処理を行う方法を提案^{[43][44]}することで、かなり効果の高い並列シミュレーションシステムを構築可能であることが分かった。

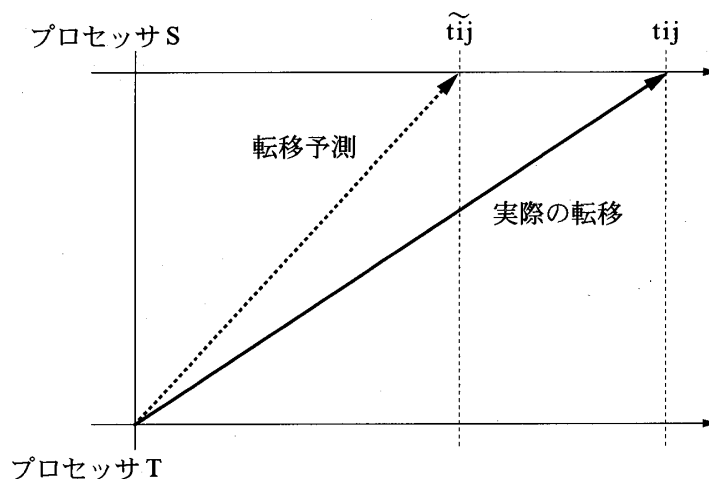


図8 並列シミュレーションにおける転移予測

5 MITRAM統合システムとその結果

このように様々な技術を取り入れ、MITRAMが完成しつつある。MITRAMでは、当初から図9のような統括されたシステムとして、データベースをはじめとして、各部での処理データが他の部分でも利用できるようなデータ形式あるいは論理構成をとっている^{[27][37]}。

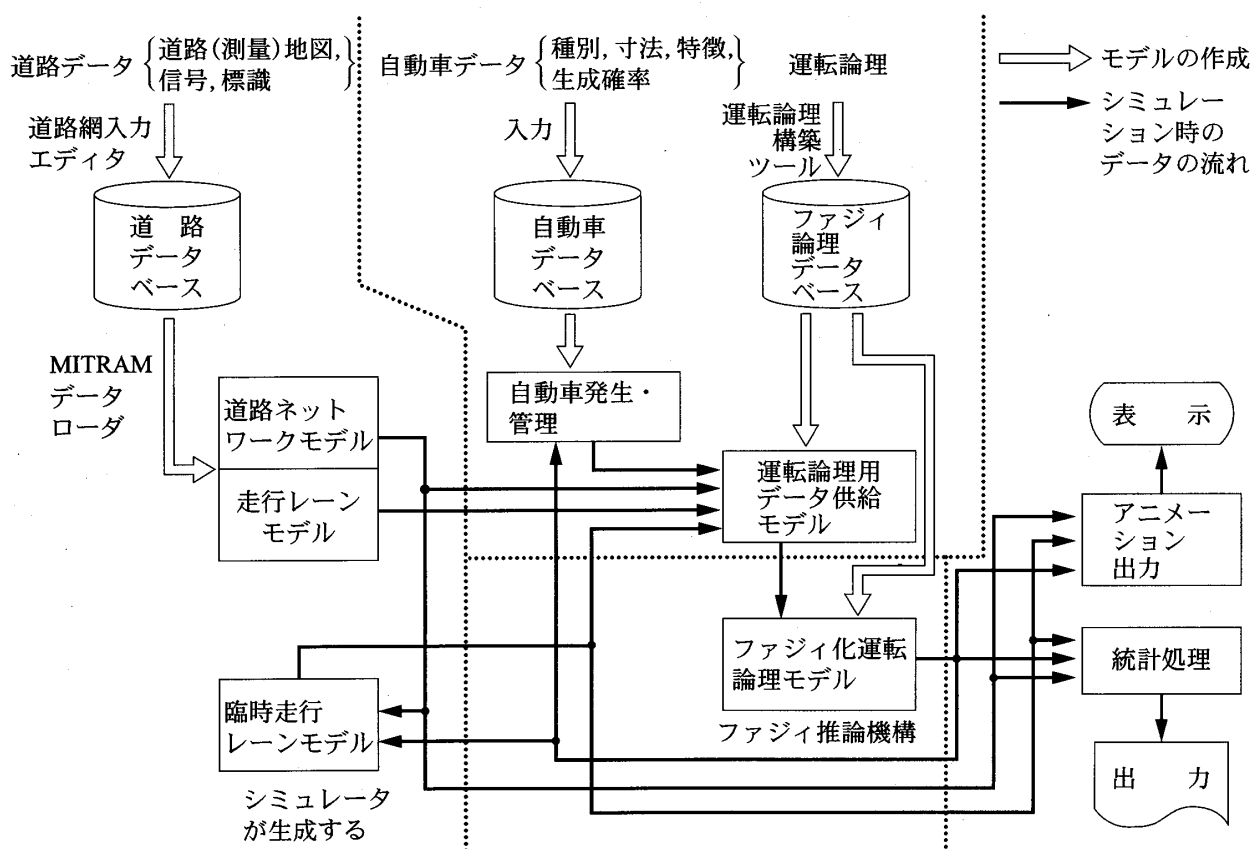


図9 MITRAM全体の構成

その統合システムに対する研究についても、初期の段階ではマンマシンシステムからのアプローチを行い^{[28][29][30]}、現在では、統合的なシステムとしての実験および評価を行っている^{[4][19][31]}。

このような構成によるMITRAMの実験結果を、交通工学では一般的であるk-v特性（交通密度と走行速度との関係）、k-q特性（交通密度と交通量との関係）、v-q特性（走行速度と交通量との関係）などからもシミュレーション結果の検証を行っており^[20]、交通密度や待ち行列からの検証についても行っている^[38]。その結果、MITRAMの統合システムが交通工学分野における理論にも適合し、MITRAMによる道路モデルが道路交通シミュレーションとして妥当な概念であるということが検証されている。

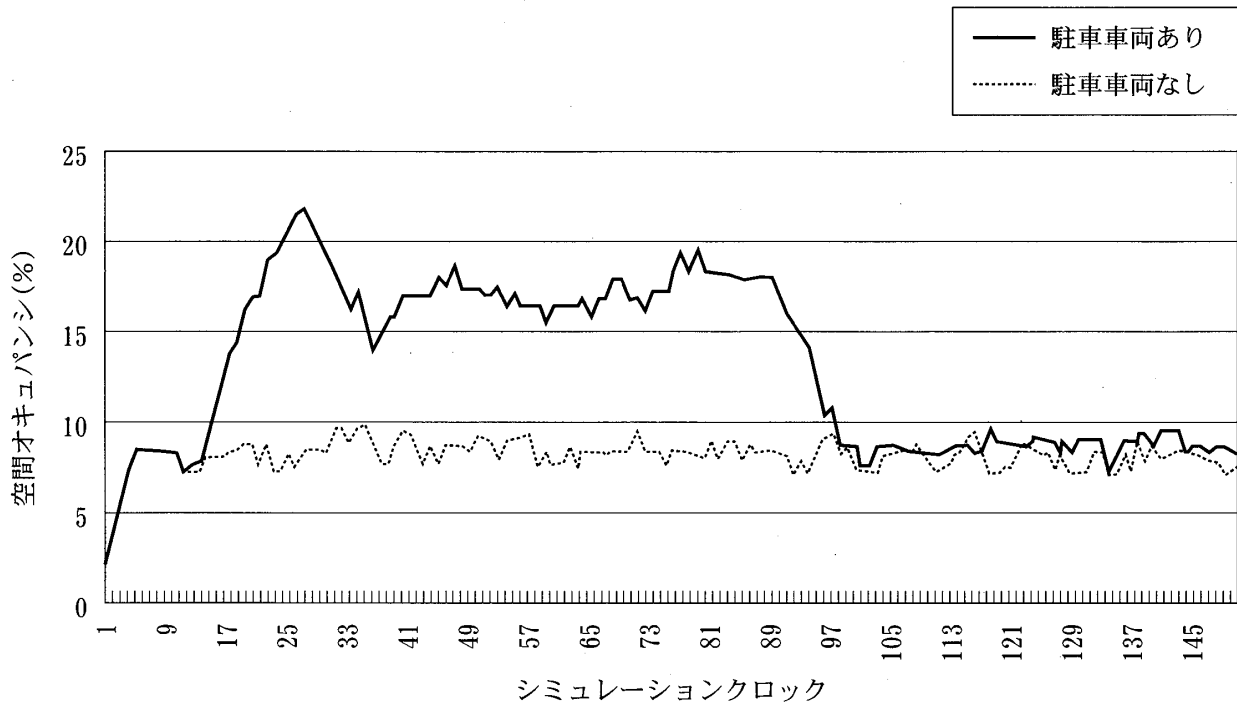


図10 MITRAMによるシミュレーション結果

図10は、このMITRAM実験システムにより得られた結果の一つである^[48]。このグラフでは、横軸が時間（サイクル）、縦軸が交通密度（100m当たりの台数）を表している。交通流に影響を与えるような駐車車両を発生させると、その影響により渋滞が発生し、交通密度が高くなっていることが分かる。さらに、その駐車車両がなくなった後も大きく影響していることから、都市道路における駐車車両がいかに道路交通に大きな影響を与えられているかが、このシミュレーション結果から知ることができる。

6. 道路交通シミュレーションシステムと今後のアプローチ

MITRAMでは、現実に応じたシミュレーションシステムの実現のために、様々な技術を投入した研究を行ってきたことを述べた。特に、レーン走行モデルの提案は、道路データベースの論理的な構築により、道路交通シミュレーション技術の一つとして確立したといえる。また、ファジィ理論・ニューラルネットワークによる実測データの解析および学習によって、現実に近い運転モデルを実現することが可能であることが実証できた。さらに、並列シミュレーションによって、その処理を効率良く短時間で、その結果を入手できるシステム構築ができるようになった。

これによって、実現象を模擬するシミュレーションとしてのモデル構築については、ある程度完

成の域に達しつつあるといえる。ここではM I T R A Mでの研究をより発展させるための新たな技術導入や他分野への適用について述べる。

6.1 最新技術導入について

M I T R A Mでは、様々な新しい情報技術の導入を図ってきたが、さらに高速化、高性能化を図るための方法や、I T Sに代表される道路交通における新しい技術との融合も必要である。ここでは、その提案を行うとともに、導入する際の問題点とその解決方法に対する考察を述べる。

(1) グリッド・コンピューティング

現在、並列コンピュータ分野で期待されている技術にグリッド・コンピューティングがある。グリッド・コンピューティングとは、ネットワークで接続された複数のパソコンやワークステーション、メインフレームなどのコンピュータ資源を活用するものである。今までの並列化の考えでは、すべて自前で購入したプロセッサをネットワークでつなげていたものが、グリッドコンピューティングの場合、ネットワーク上につながっているが利用されていないコンピュータを利用するために、コストを大幅に削減でき、グリッド数によっては飛躍的な計算能力を得られる可能性がある。ただし、並列シミュレーションの研究でも大きな課題となっている負荷の配分方法に加え、接続されたグリッドごとのC P Uの性能差とその変動なども考慮に入れて計算処理を送り込む必要がある。そのために、グリッド化を実現させるには、同一プロセッサをつないだ並列シミュレーションよりも、アルゴリズムがかなり複雑になる。これらの問題を解決するには、同期処理、負荷配分、あるいは動的負荷分散における新たな手法を提案する必要がある。

(2) マルチエージェント技術の適用

近年、プロセッサの小型化によってモバイル機器が多くなったことから、移動しているそれぞれの機器を中央集権的に統合して使うのではなく、それぞれが自律的に働き、効率性を向上させる方法が考えられている。シミュレーション上の要素（道路交通シミュレーションでは、自動車・歩行者・信号など）についても、モデルの記述をより詳細にすることで、エージェントとしての機能を持たせ、より現実に近いシミュレーションを実現することができると思われる。また、並列シミュレーションでも、並列化のために分割されたシミュレーション地域を担当するプロセッサに対して、自律的に同期処理を行うマルチエージェント型の同期システムについて提案しており、今後は各シミュレーション地域のプロセッサがマンマシンシステムや統計システムを担当するプロセッサとの通信を自立して行えるような方法にすることで、高機能なシミュレーションを提供できることが期待される。

(3) I T Sとの融合モデル

I T S (Intelligent Transport Systems: 高度道路交通システム) は、最先端の情報通信技術を用い、人と道路と車両とを情報ネットワーク化することで、交通事故、渋滞などといった道路交通問題の解決を目的に構築する新しい交通システムである。国土交通省では、ナビゲーションの高度化、自動料金収集システム、歩行者支援などの9項目を挙げており^[50]、これらのシステム・制度を取り入れていく必要がある。これによって、道路交通シミュレーションとして、道路状況表示板やカーナビゲーションによる情報提供により、交通渋滞をどの程度変化させることができるかを試すことができる。なお、道路データベースには、表示板の種類や位置情報についても格納できるようになっ

ており、容易に対応することができる。M I T R A Mでは、道路交通をモデル化する基本的な設計がなされているので、これらのI T Sにおける機能を取り入れることにより、様々なI T Sの適用方法についての評価を行うことが可能となる。

6.2 社会問題への適用について

今まで、M I T R A Mは、理工学分野における研究・開発・評価が中心であった。M I T R A Mを経済・環境などの異なった分野に利用することで、様々な社会問題を分析・解決することができる。実用的なシステムの適用として、次のようなことが期待できる。

(1) 道路交通の経済シミュレーション

交通渋滞による損失は、年間12兆円であり、国民一人当たり約42時間であると言われている。道路環境の整備が昔から行われているにもかかわらず、今までは、日本の貧弱な道路というハードウェアのみに着目した都市整備しか行われてこなかったために、このような社会問題として重大である渋滞問題が解消されなかった。また、都市の道路整備は、コスト・土地利用などの制約があり、道路全体を統合させた考えが出てこなかったことも挙げられる。道路交通シミュレーションシステムは、道路を単なるハードウェアとして見るのではなく、それぞれの道路のつながりを見つけ、効率の良い輸送方法を考えることにより、経済損失・効率についても考えることができる。さらに、近年はTDM施策（交通需要の調整・抑制策）というものが考えられている。これは、各種交通機関の連携や公共交通機関の利用により、渋滞を緩和させる施策のことである。これらの施策についても、自動車の発生や交通容量などの点からシミュレーションを行い、その経済効率を評価することができる。

(2) 環境シミュレーション

自動車が環境に与える影響についても、近年は大きな問題になっている。最近の例では、東京都を中心とした首都圏における大気中の粒子状物質（PM）に対する規制策（ディーゼル車規制）も実施されることになっている。PM以外にも、環境開発サミットや京都議定書でも問題の一つであったCO₂の排出において、自動車が及ぼしている影響や、人間へ悪影響のあるCO、NO_xなどについても、どの程度排出されているかの現況を把握することができる。ただし、実際には、その土地の形状や建物などが与える大気の流れについてもデータとして与えられることが必要となるが、道路データベースを拡張することで解決できると思われる。また、大きな変更を行わなくても、渋滞箇所と大気汚染物質との影響については、シミュレーションを行うことである程度把握できる。

(3) 景観シミュレーション・事故解析シミュレーション

都市の景観シミュレーションなどは、すでにいくつかの適用例も見られるが、M I T R A Mでは、運転者の視点から運転モデルを把握するための3次元アニメーションシステムも構築しており^[25]、自動車から見た都市環境の景観シミュレーションも可能となる。また、環境だけではなく、詳細なM I T R A Mデータベースを用いて道路構造を再現し、運転者や歩行者の死角となる部分を把握したり、実際の事故の起きた状況をシミュレーションで再現することにより、事故の原因解析のシミュレーションも可能となる。

7. おわりに

本論文では、MITRAMにおける道路交通シミュレーションシステムにおける提案およびその結果についての検証について述べた。道路モデルの検証や運転走行モデルの検証については、様々な見地から行っており、現実に見合う妥当なモデルが作成されている。そして、このシミュレーション結果により、巨視的である交通工学的における理論にも適合しており、また、道路交通における渋滞現象のシミュレーションを忠実に表せることが示された。

現在、シミュレーション学会などでも、MITRAMを参考にしたものも見られ、今後、この研究成果がより広く応用されることと思われる。今後は、一層の高精度・高速化により、実用的なシステムへの見通しを明らかにしたい。

さらに、本論文の最後に述べたが、新たな技術導入とともに、この研究成果を理工学分野のみにとどめておくべきではなく、社会科学分野への適用を計ることも必要であると思われる。社会活動における一つの大きな分野である道路交通システムを、経営・経済あるいは政治的な点から分析したり、一つの指標として各分野へ反映できるような情報システムとしての再構築を行い、より幅広いシミュレーションシステムとして研究活動を行う予定である。

参考文献

- [1] 猪飼國夫、板倉直明、本多中二：「MITRAMにおける個別自動車のファジィモデルによるシミュレーションの実現」、第11回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス講演論文集、1992年6月、PP. 175-178
- [2] 猪飼國夫、板倉直明、比留間健一郎、本多中二：「MITRAMのファジィ自動車運転モデルを実現するハードウェアエミュレータ」、第12回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス講演論文集、1993年6月、PP. 157-160
- [3] 猪飼國夫、佐藤章：「微視的道路交通シミュレーションのためのオブジェクト指向モデルの構築とその検証」、シミュレーション、第18巻、第3号、1999年9月、pp. 52-61
- [4] 猪飼國夫、本多中二、板倉直明、佐藤章：「MITRAM道路交通シミュレーションシステムの統合シミュレーション環境」、第20回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス、2001年6月、pp. 283-286
- [5] 五十嵐智也、中村俊一郎、斉藤成一、宮西洋太郎：「交通シミュレータのマルチプロセッサ化開発」、第21回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス、2002年6月、pp. 127-130
- [6] 石川亮、佐藤典子、本多中二、板倉直明、猪飼國夫：「微視的道路交通シミュレータにおける個人特性を考慮した右折運転動作モデルの構築」、第21回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス、2002年6月、pp. 143-146
- [7] 板倉直明、猪飼國夫、本多中二：「MITRAMにおけるファジィモデル自動車の多段二項ファジィ論理による構築」、第11回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス講演論文集、1992年6月、PP. 189-192
- [8] 板倉直明、猪飼國夫、本多中二：「MITRAMにおけるファジィモデル自動車のニューラルネットによる具体化」、第12回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス講演論文集、1993年6月、PP. 153-156
- [9] 板倉直明、本多中二、猪飼國夫：「MITRAMにおける運転者の意志決定機構をエキスパートの経験と神経回路網によりモデリングする方法とそのシミュレーション」、第13回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス講演論文集、1994年6月、PP. 87-90
- [10] 板倉直明、本多中二、猪飼國夫：「MITRAMにおけるファジィモデル自動車(FMV)の評価のための実走

- 行データ解析」、第14回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス講演論文集、1995年6月、PP. 205-208
- [11] 板倉直明、和泉裕孝、本多中二、猪飼國夫：「先行者と道路状況の要因を融合するための実データ学習ファジィモデル自動車の評価」、第18回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス、1999年6月、PP. 149-152
- [12] 岩間望、板倉直明、猪飼國夫、本多中二：「ファジィモデル自動車のモデリングの違いによる学習結果の評価」、第17回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス、1998年6月、PP. 239-242
- [13] 上田文典、大原友美、滑川光裕、佐藤章：「道路交通シミュレーションのための表示」、第21回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス、2002年6月、pp. 123-126
- [14] 王維恩、板倉直明、本多中二、猪飼國夫：「非衝突条件を考慮した追従運転のモデル化」、第20回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス、2001年6月、pp. 299-302
- [15] 岡村寛明、桑原雅夫、吉井稔雄、西川功：「一般街路網シミュレーションモデルの開発と検証」、第16回交通工学研究発表会論文報告集、1996年、pp. 93-96
- [16] 尾崎敦夫、古市昌一、阿部一裕、中島克人、田中秀俊：「オブジェクト指向並列シミュレーション技術に基づく交通シミュレータの実装と評価」、第15回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス、1996年6月、PP. 173-176
- [17] 小野寺博、高橋道哉、佐藤淳一、三好勲、佐藤章：「MITRAM道路環境情報入力システム—汎用型道路環境情報入力方式—」、第15回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス、1996年6月、PP. 157-160
- [18] 川上省吾、松井寛：「交通工学」、森北出版、1987年
- [19] 木藤智光、駒形真樹、藤澤哲也、滑川光裕、土田賢省、佐藤章：「MITRAMの道路ネットワークモデル、トラックモデルの検証とその評価」、第16回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス、1997年6月、PP. 177-180
- [20] 木藤智光、滑川光裕、土田賢省、佐藤章：「MITRAM実験システムによる道路モデル評価のためのシミュレーション」、第17回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス、1998年6月、PP. 247-250
- [21] 栗本謙、「道路交通流解析のデジタル・シミュレーション・モデル」：土木学会論文報告集、Vol. 320, 1982, pp. 137-148
- [22] 小林大悟、板倉直明、本多中二、猪飼國夫：「車間距離制御を加えたファジィモデル自動車の提案と車群特性」、第21回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス、2002年6月、pp. 131-134
- [23] 駒形真樹、小野寺博、藤澤哲也、滑川光裕、土田賢省、佐藤章：「道路交通解析のための対話型アニメーションシステム」、パーソナルコンピュータユーザ利用技術協会第14回パソコン利用技術研究発表会講演論文集、1997, pp. 5-8
- [24] 駒形真樹、滑川光裕、土田賢省、佐藤章：「微視的な自動車モデルによる道路交通シミュレーションのヒューマンインタフェース」、電子情報通信学会1997年総合全国大会講演論文集「基礎・境界」、1997, pp10 - 10
- [25] 駒形真樹、木藤智光、滑川光裕、佐藤章：「道路交通解析のための対話型アニメーションシステム」、パーソナルコンピュータユーザ利用技術協会パソコンリテラシ、Vol.23, no.6, 1998
- [26] 木俣昇、高木秀彰、黒川浩嗣：「ベトリネットによる交通流シミュレーションの開発」、土木計画研究講演集、1995, pp. 177-180
- [27] 佐藤章、猪飼國夫、半場哲、中西俊男：「渋滞解析を目的とした微視的道路交通システムの機能と構成」、第11回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス講演論文集、1992年6月、PP. 171-174
- [28] 佐藤章、猪飼國夫、佐藤淳一、半場哲、中西俊男：「MITRAMのマンマシンインタフェース」、第12回シミュ

レーション・テクノロジー・コンファレンス講演論文集、1993年6月、PP. 141-144

- [29] Akira SATOH, Kunio YIKAI, Jun-ichi SATOH, Michiya TAKAHASHI, Mitsuhiro NAMEKAWA : "Human-interface on Large-scale Simulation System with Micro-scopic Model", Proceedings of International Congress on Modelling and Simulation 1993, Vol. II, Vol.2, 1993, pp.819 - 824
- [30] 佐藤章、滑川光裕、三好勲：「MITRAMのマンマシンインタフェース—2次元アニメーション—」、第13回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス講演論文集、1994年6月、PP. 91-94
- [31] Akira SATOH, Mitsuhiro NAMEKAWA, Nakaji HONDA, Naoaki ITAKURA and Toshio NAKANISHI : "A system for verifying the MITRAM Model", Proceedings of International Congress on Modelling and Simulation 1995, Vol.2, 1995, pp.331-336
- [32] Jun-ichi SATOH, Akira SATOH, Michiya TAKAHASHI, Kunio YIKAI and Nakaji HONDA : "Road Database System for Road Traffic Simulation", Proceedings of International Congress on Modelling and Simulation 1997, Vol.4, 1997, pp.1438-1443
- [33] 高橋道哉、滑川光裕、三好勲、佐藤章：「MITRAMのための渋滞道路のデータ解析」、第11回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス講演論文集、1992年6月、PP. 185-188
- [34] 高橋道哉、佐藤淳一、猪飼國夫、三好勲、佐藤章：「MITRAMのデータベースシステム」、第12回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス講演論文集、1993年6月、PP. 145-148
- [35] Michiya TAKAHASHI, Jun-ichi SATOH, Isao MIYOSHI, Akira SATOH and Toshio NAKANISHI : "The Data Input Subsystem for the Simulation through MITRAM", Proceedings of International Congress on Modelling and Simulation 1995, Vol.2, 1995, pp.325-330
- [36] 千葉信二、板倉直明、本多中二、猪飼國夫：「ファジィモデル自動車の再構成データを与える実測データ規範シミュレーションに対する検討」、第18回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス、1999年6月、PP. 145-148
- [37] Toshio NAKANISHI, Kunio YIKAI, Jun-ichi SATOH, Isao MIYOSHI, Akira SATOH and Michiya TAKAHASHI : "The development of a road traffic simulation system in broad areas", Proceedings of International Congress on Modelling and Simulation 1993, Vol.2, 1993, pp.813-818
- [38] 長岡浩一、木藤智光、滑川光裕、佐藤章：「MITRAM道路モデルの性能評価シミュレーション」第18回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス、1999年6月、PP. 153-156
- [39] Mitsuhiro NAMEKAWA, Kensei TSUCHIDA, Akira SATOH, Kunio YIKAI, Toshio NAKANISHI : "A parallel simulation based on a road traffic network system", Proceedings of International Congress on Modelling and Simulation 1995, Vol. II, 1995, pp. 331-336
- [40] Mitsuhiro NAMEKAWA, Akira SATOH, Hideki MORI, Kunio YIKAI and Toshio NAKANISHI : "Clock Synchronization Algorithm for Parallel Road Traffic Simulation", Proceedings of International Congress on Modelling and Simulation 1997, Vol.4, 1997, pp.1426-1431
- [41] 滑川光裕、森秀樹、佐藤章：「連続事象並列シミュレーションにおける同期方法の性能評価」、第18回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス、1999年6月、PP. 157-160
- [42] 滑川光裕、後藤和則、森秀樹、佐藤章：「連続事象シミュレーションにおける並列化アルゴリズムの実験評価」、情報処理学会研究報告、Vol.99, No.66, 1999, pp. 173-178
- [43] Mitsuhiro NAMEKAWA, Akira SATOH, Hideki MORI, Kunio YIKAI, Toshio NAKANISHI : "Clock synchronization algorithm for parallel road-traffic simulation system in a wide area", Journal of Mathematics and Computers in Simulation,

Vol.48, No.4-6, 1999, pp. 351-359

- [44] Mitsuhiro NAMEKAWA, Akira SATOH, Hideki MORI : "Experimental evaluation of parallelism-implemented algorithm in the continuous-event simulation", Proceedings of Parallel and Distributed Computing and Systems, 2000
- [45] 菲塚崇史、高橋道哉、佐藤淳一、三好勲、佐藤章：「道路交通シミュレーションのための汎用型道路情報データベースシステムの機能」、第17回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス、1998年6月、PP. 243-246
- [46] 更田あづさ、板倉直明、本多中二、猪飼國夫：「カオス的解析によるファジィモデル自動車（FMV）の評価」第16回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス、1997年6月、PP. 181-184
- [47] 更田あづさ、山田光夫、板倉直明、本多中二、猪飼國夫：「先行者以外の情報も考慮したファジィモデル自動車運転論理の実現」、第17回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス、1998年6月、PP. 235-238
- [48] 藤澤哲也、阿部元章、黒柳幸男、滑川光裕、佐藤章：「MITRAM実験システム—道路ネットワークモデル、トラックモデルの検証—」、第15回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス、1996年6月、PP. 153-156
- [49] Koichiro YOSHIDA, Akira SATOH, Mitsuhiro NAMEKAWA and Junn-ichi SATOH : "Database Input System for Road Traffic Simulation", Proc. of Int'l Conference on Modeling, Control and Computation in Simulation, 2000
- [50] 国土交通省ITSホームページ：<http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/>