

ファジィ推論を用いたネットワーク構造モデルによる 自動車すり抜け運転動作などのシミュレーションと渋滞解析

猪飼 國夫[†] 石川 亮^{††}
本多 中二^{††} 板倉 直明^{††}

微視的モデルに基づく渋滞解析用道路交通シミュレータを構築するとき、自動車の運転動作のモデリングが重要となる。しかし、人間の運転動作を精緻に表現しようとする多様な要素やあいまいで定性的な情報を考慮しなくてはならず、単純な微分方程式や統計式でモデルを構築するのは困難である。本論文では、ファジィ推論を導入したネットワーク構造で、様々な要素を取り入れたすり抜け運転動作モデルや踏切り横断運転モデルを構築する。道路上の駐停車車両などの障害物を回避して進行するすり抜け運転状態は渋滞の大きな原因となるが、本論文では構築したモデルを用いて複雑なすり抜け運転状態を計算機上でシミュレートし、いくつかの渋滞現象を解析する。また同様に踏切りでの渋滞の解析や運転者の個人特性の相違による渋滞への影響を調べる。そしてこれらのシミュレーションを通じてシミュレータでのネットワーク構造モデルの有用性を示す。

Simulation of Drivers Maneuvering around Obstacles and Analysis of Traffic Congestion Using Network-Structured Models Based on Fuzzy Inferences

KUNIO YIKAI,[†] RYO ISHIKAWA,^{††} NAKAJI HONDA^{††}
and NAOAKI ITAKURA^{††}

In constructing a road traffic simulator for congestion analysis based on a microscopic model, the modeling of driver's behavior becomes important. However, expressing a driver's behavior precisely and in detail involves consideration of a variety of factors and ambiguous and qualitative information. Consequently, it is extremely difficult to build models using simple differential equations or statistical formula. In this paper, we propose using a network structure based on fuzzy inferences to build models that contain many factors for simulating drivers maneuvering around obstacles or across railroad crossings. Such maneuvers as driving around obstacles, for example vehicles parked or stopped on the roadside, can be a cause of traffic congestion. The models thus build are used to simulate such complex maneuvers on a computer in order to analyze some cases of traffic congestion. Moreover, we have also build models for analyzing congestion occurring at railroad crossings and for investigating some effects on the congestion due to variations between the tendencies of individual drivers. With these simulations we will demonstrate the usefulness of network-structured models.

1. はじめに

今日、都市部における交通渋滞は大きな経済的、エネルギー的ロスを生み、また環境悪化の面からも深刻な問題となっている。そこでその対策を立てるために、計算機シミュレーションによる交通渋滞の解析が重要性を増している。それは道路交通の解析では、フィールドでの実験はコストがかかり、危険をとまなうため

にほとんど実施することができず、一方で計算機の能力が飛躍的に向上したことにより、大規模で精緻な処理が可能になったためである。

道路交通シミュレーションを行うシミュレータは、1950年代より様々なものが開発されてきた^{1)~3)}。これらを大別すると、交通流を流体としてとらえてモデル化する巨視的モデルによるアプローチと、自動車個々の動きをモデル化して集団に組み上げる微視的モデルによるアプローチがある。このうち前者は道路形状や交通状態が比較的単調な高速道路や幹線道路などでの渋滞解析に十分機能をするが、様々な状況や要素がからむ市街地での渋滞解析では後者のアプローチが

[†] 株式会社エム・アイ・ベンチャー
MI Venture's Corp.

^{††} 電気通信大学

University of Electro-Communications

求められる。

微視的モデルによるアプローチでは、道路をリンクで表し、いくつかのブロックに分けて、自動車の動きをブロック間の移動として流出・流入可能量から決定するもの⁴⁾や、道路をメッシュで細分化して自動車の動きをメッシュ間の移動で表し、移動機構をペトリネットで表現したり⁵⁾、セルラオートマトンで表現したりするもの⁶⁾が主流となっている。しかしこれらは自動車の動きをブロック間やメッシュ間の動きとしてとらえているために、自動車や運転者の特性や道路の状況を細かく反映させることが難しく、また自動車の動き自体、自然さに欠ける。一方、市街地では違法駐車の影響やバス停の位置、右折車線の長さ、信号のタイミングといった細かい要素が渋滞に大きな関わりを持ち、また短い時間の動的な変化が全体に影響するので、シミュレータとしてより精緻なものが必要となる。

我々は上記のような要請から、実態に即してかなり細かな自動車の動きや道路の状況を取り入れることが可能なシミュレータ MITRAM (Microscopic model for analyzing TRaffic jaMs on the city area)を開発しており、そのシステムのコンセプトや構成法について文献7)、8)で、システム内部で最も重要な運転動作モデルの詳細について文献9)で、さらに複雑な運転動作の階層構造モデルによる実現について文献10)で提案してきた。運転者や道路の様々な要素を考慮した運転動作モデルを構築する場合、単純な微分方程式や統計式のみで作成するのは困難である。MITRAMでは、ファジィ推論を取り入れたネットワーク構造モデルを用いてこれに対処しているのが特色である。

本論文では、提案してきた上記の MITRAM におけるモデルを統合して、3つの渋滞現象についてシミュレートし解析する。そしてシミュレーションにおいて本ネットワーク構造モデルが有用なことを示す。シミュレーションの対象は、渋滞現象の解析で重要となる、道路上に駐停車車両などの障害物が存在する場合のすり抜け運転の影響、踏切りによる停止の影響、運転者の個人特性の相違による影響である。この3つのシミュレーションをそれぞれ MITRAM 上でを行い、個々の自動車の自然な動きを表示できるディスプレイ機能を用いて渋滞の状況を視覚的に検証するとともに、現象の統計的な特性を調べる。なお従来のブロックやメッシュを用いた方法と比べて MITRAM の特色は、自動車の動きが視覚的に把握でき、時々刻々と変化する渋滞の様子がリアルに観察できること、運転者の個人特性など細かい要素を分かりやすい形でモデリングできシミュレーションに反映できること、MITRAM

では道路モデルや運転動作モデルは、問題ごとにその問題に合わせた特有なモデルを構築するのではなく、すべてのシミュレーションで共通のモデル構造となっていて、データを変えるのみで状況の異なる様々な渋滞現象に対応できることなどであり、これらを3つのシミュレーションを通じて明らかにする。

2. MITRAM の概要

MITRAM のシステム構成を図1に示す。MITRAM では従来の多くのシミュレータと異なり、道路モデルと運転動作モデルを切り離し、独立したモデルとして構築している。これによりモデリングは複雑となるが、リンクやブロック、メッシュの方法にみられる制限された自動車の動きが回避でき、また道路、自動車に関わる様々な要素を柔軟に取り扱えるようになる。

道路モデルでは、シミュレーションの対象となる実際の道路上に図2に示すように仮想走行レーンを設定する。これは運転者が自分の進もうとする走行進路を図2のようにあらかじめイメージとして頭の中に描いているという仮説に基づくもので、自動車はその進路に沿うように操舵操作を行う¹¹⁾。MITRAM では、この仮想走行レーンを実際の道路状況から道路モデル

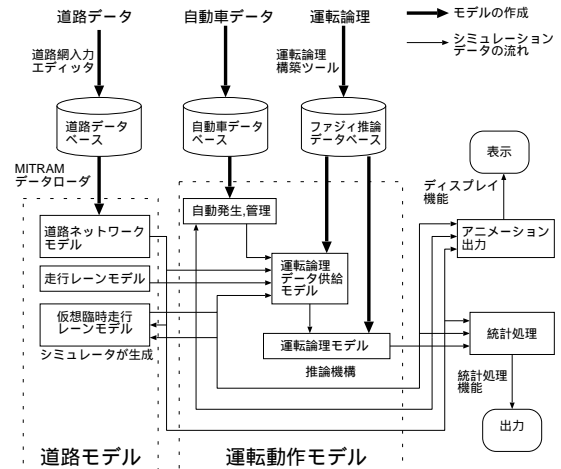


図1 MITRAM のシステム構成
Fig.1 System structure of MITRAM.

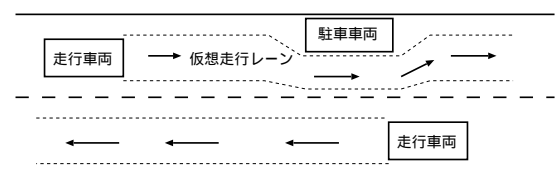


図2 仮想走行レーンのイメージ
Fig.2 Image for virtual running lane.

で設定し、運転動作モデルに提供する。自動車はこれに沿って進行するので、運転動作モデルでは複雑な判断を要する操舵操作を考慮しなくて済み、モデルの簡略化が可能となる。

運転動作モデルは3章で述べるように、ファジィ推論を取り入れたネットワーク構造モデルを用い、それを並列化および階層化している^{9),10)}。

またMITRAMでは、シミュレーションの状況を視覚的に表示するディスプレイ機能、および統計的な処理を行う統計処理機能を備えている。

3. 運転動作モデルの構造

3.1 ネットワーク構造モデル

汎用性のあるシミュレータを構築するには、様々な状況における運転者の判断を反映できる運転動作モデルが必要となる。そこでこの運転動作モデルの論理系を、実際の人間の運転動作に基づいて直観的に分かりやすい構造で表現する。そのために全体を図3のように階層化および並列化して複数のサブモデルに分割し、それらの組合せで構成する。各論理系は図4に示

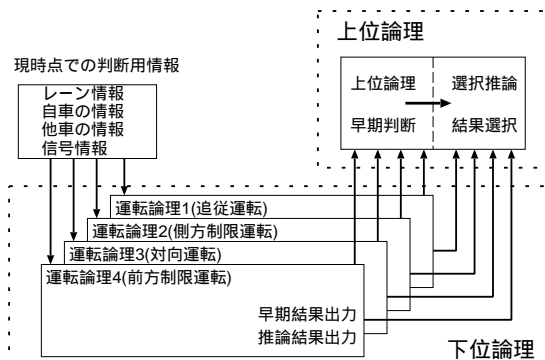


図3 運転動作モデルの4つの運転論理系(下位論理)と上位論理
Fig. 3 Four drivers maneuvering models (lower layer model) and upper layer model.

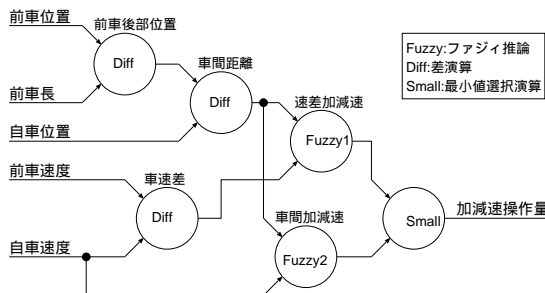


図4 ネットワーク構造モデル(追従運転論理)
Fig. 4 Example of network-structured model (Drivers maneuvering model of succeeding vehicle).

すように2入力1出力の関数機能をノードとしたネットワーク構造で構成する。このノードにはファジィ推論をはじめ、四則演算、推論演算、関数計算などが組み込めるようになっている。

図4に示した運転論理系は、運転動作で基本となる追従運転論理である。この図でDiffは差の演算, Smallは小さい方の値をとる演算であり, Fuzzyはファジィ推論である。

3.2 階層化と並列化

運転動作モデルでは、運転者の無意識的な運転判断と意識的な運転判断を階層的に分離して扱う。ここで、無意識的な運転判断を下位論理、意識的な運転判断を上位論理とする。下位論理は運転中つねに起動しつづけるものとし、上位論理は交通状況などに応じて発火するものとする。

下位論理では、運転動作で最も重視すべき「車を衝突させずに運転する」という規範を設け、それに基づいて4つの運転論理系に分離する。すなわち、
(1) 他の車の後面に衝突させない運転論理、
(2) 他の車の側面に衝突させない運転論理、
(3) 他の車の正面に衝突させない運転論理、
(4) 車以外に衝突させない運転論理、

である。この4つの運転論理系を図4のようにそれぞれネットワーク構造モデルで作成し(図3の運転論理1~4に対応)、さらにそれらを上位論理により有機的に結合する。この4つの論理系はつねに並列に作動し、処理の高速化を行う。

運転動作モデルは、0.1秒ごとに各自動車の運転操作量を算出しており、500台程度までの台数のリアルタイムのシミュレーションを行えるようにしている。このためにファジィ推論を含むネットワーク構造モデルの情報処理を高速に行う専用の処理系を開発し、導入している¹²⁾。

4. シミュレーション

4.1 すり抜け運転

4.1.1 モデル構造

市街地での道路交通シミュレーションでは、駐停車車両などの障害物の影響を無視することができず、むしろそれは渋滞の大きな原因になる可能性がある。この障害物を考慮するとき、すり抜け運転動作のモデルが必要となるが、このすり抜け運転動作のモデル化は意外に難しい。これを取り上げた先行研究として文献13)のコンパートメントと名付けられたメッシュ法を応用したモデルによるものがある。このモデルでは、本来のメッシュに裏コンパートメントという障害物を入

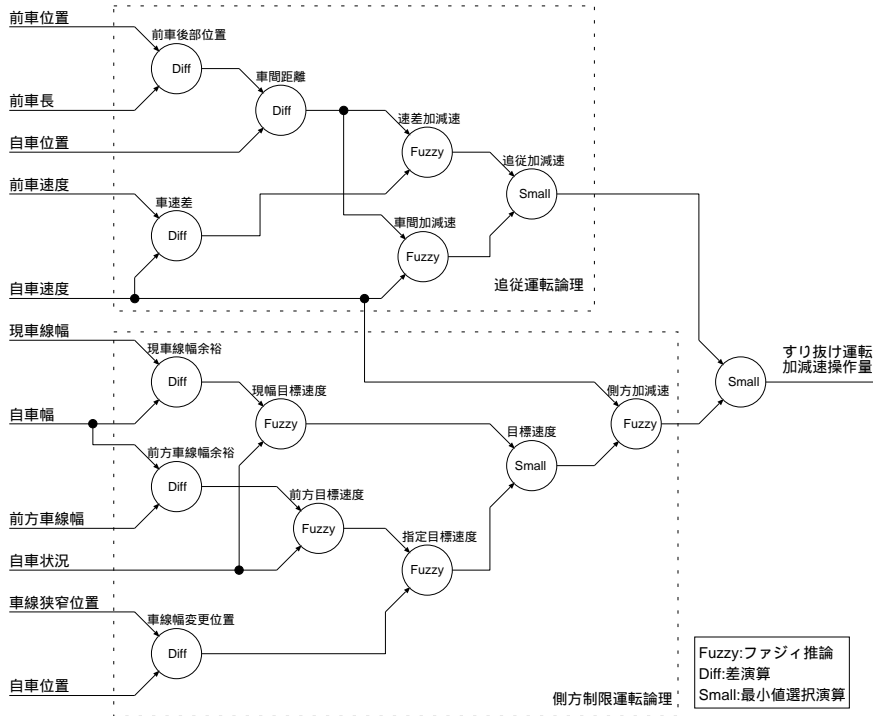


図5 すり抜け運転動作モデル

Fig. 5 Model of drivers maneuvering around obstacles.

れたメッシュを重ねて定義することにより、メッシュ法の欠点である2台以上の自動車と同時に同一メッシュに存在できないという点を解決し、さらに残った道路有効幅員をメッシュとは関係なく計算しなおすことにより、自車幅との関係で走行速度を求め、制御を行っている。ただ有効幅員と車速との関係を単純に一次式で表しているため、運転者の特性による運転動作の差異などは別の方法でシミュレーションに組み込まなくてはならない。

本研究では、障害物による車線幅の狭窄化を、運転者の脳裏に形成される臨時走行レーンで対処する。このとき、運転者は狭窄化した車線から以下のような運転制限を受けて操作量を決定する。

- 現在走行中の位置における車線幅による操作制限
- 将来通過する位置の車線幅による操作制限

この論理は図3の側方制限運転論理であり、これと運転論理の最も基本的な役割をする追従運転論理とを状況判断を含めて上位論理のもとで接続することで、すり抜け運転動作モデルを構成する。このモデルを図5に示す。

4.1.2 シミュレーション結果

構築したすり抜け運転動作モデルを用いたシミュレーションの状況の一部を図6に示す。この図は車

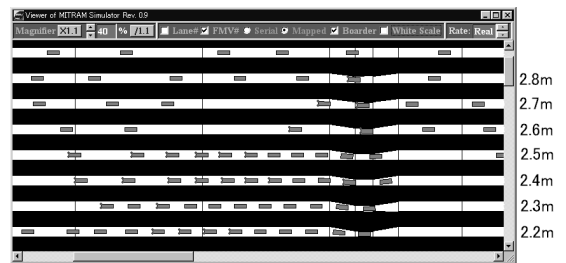


図6 すり抜け運転のシミュレーション

Fig. 6 Simulation for drivers maneuvering around obstacles.

線の幅員を4.0mとして、上より駐停車車両などの障害物が存在しない場合、そして障害物により狭路幅が2.8mから0.1mずつ2.2mまで順次減少した場合の車両の流れを示している。この道路モデル上で、車幅1.7m、車長4.7mの同一寸法の車両を2,580[台/時]発生させ、一般の市街地交通でよく見られる状態での渋滞状況を再現した。表1はその状況を統計的にまとめたもので、交通容量は狭路幅が2.6mまでは障害物による影響を受けないが、2.5m以下になると急激に減少することが分かる。すなわち、ここで設定した状況では幅1.5m以上の障害物は渋滞を引き起こすことが分かる。これはディスプレイ上の観測からも確認さ

表 1 狭路幅と交通容量

Table 1 Relations between road width and traffic capacity.

狭路幅 (m)	交通容量 (台/時)
2.8	2,580
2.7	2,580
2.6	2,580
2.5	1,200
2.4	1,008
2.3	924
2.2	816

表 2 車幅と平均速度

Table 2 Relations between vehicles width and average speed.

発生車種	平均速度 [km/h]
小型車のみ	56.9
普通車のみ	45.7
大型車のみ	24.6
全種混合	24.7

表 3 車両発生台数と平均速度

Table 3 Relations between vehicle generating rate and average speed.

車両発生数 [台/時]	平均速度 [km/h]
500	56.7
750	48.7
1,000	47.6
1,250	39.9
1,500	29.2
1,750	23.4

れた。

次に、車線幅員 4.0 m で車両発生台数 1,000 [台/時] の道路を想定し、この車線の一部分を障害物により狭路幅 2.5 m にする。この条件のもとで、通過車両の車幅を 1.6 m (小型車), 1.8 m (普通車), 2.0 m (大型車) として、それぞれ単一車種の場合、等比率で混合した場合についてシミュレーションを行った。その結果、通過車両の車幅と平均速度の関係は表 2 のようになった。この結果より、車幅が大きくなると平均速度の低下が著しいことが分かる。また車種を混合した場合、最も速度が遅くなる車種、すなわち大型車の速度に全体が支配される様子が見られる。

さらに、車両発生台数を変えた場合について車線の狭窄化による影響を調べた。ここでの道路条件も、4.0 m 幅の車線の一部が障害物により 2.5 m に減少しているものとした。車両発生台数を 500 [台/時] から 1,500 [台/時] まで段階的に変化させ、それによる平均速度の変化を測定した。その結果を表 3 に示す。車両発生台数を大きくした場合、障害物の影響で平均速度

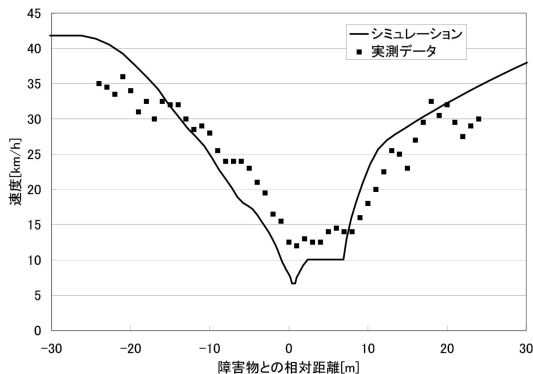


図 7 狭窄車線通過車両の速度変化

Fig. 7 Speed change of vehicles in running around obstacles.

が急激に低下する。すなわち、車両の多く行き交う道路での駐車車両などの障害物は渋滞の原因となり、周辺の交通に影響を与えることが分かる。

以上の 3 種のシミュレーション結果から、狭窄道路幅員と車幅および通過車速などの関係を明確に表現したモデルの構築ができた。これらのシミュレーション結果が実道路でのデータとどのように一致するかは、詳しく検証する必要がある。しかし、実道路に狭窄部分を設け、種々のすり抜け運転の特性を実測データとして得ることは大変難しい。そこで現段階では、MITRAM のディスプレイ機能を用いてシミュレーションの状況を視覚的に確認、検証することを最も重視している。なお文献 [13] では、大学構内での走行実験により、すり抜け時の速度データを取得している。この実験では走行距離および最高速度とも限られた状況のもとで測定が行われている。その意味では限定されたデータであるが、それらとともに本研究でのすり抜け運転動作の速度変化をプロットすると図 7 のようになる。これより本モデルの特性が実測データに近いことが分かる。

4.2 踏切り横断運転

4.2.1 モデル構造

鉄道と道路が同一平面上で交差する踏切りは、一般に渋滞の大きな原因としてあげられる。特に都市部での列車のダイヤグラムは過密化しており、短い周期で遮断機の開閉が繰り返される。これによる渋滞は局所的なものにとどまらず、周辺交通に蔓延することがしばしばあることから、踏切りによる渋滞発生のシミュレーションは非常に重要である。

踏切りを横断する車両の挙動は、次のようになる。

- 踏切りが開いているときは、一時停止と同様の運

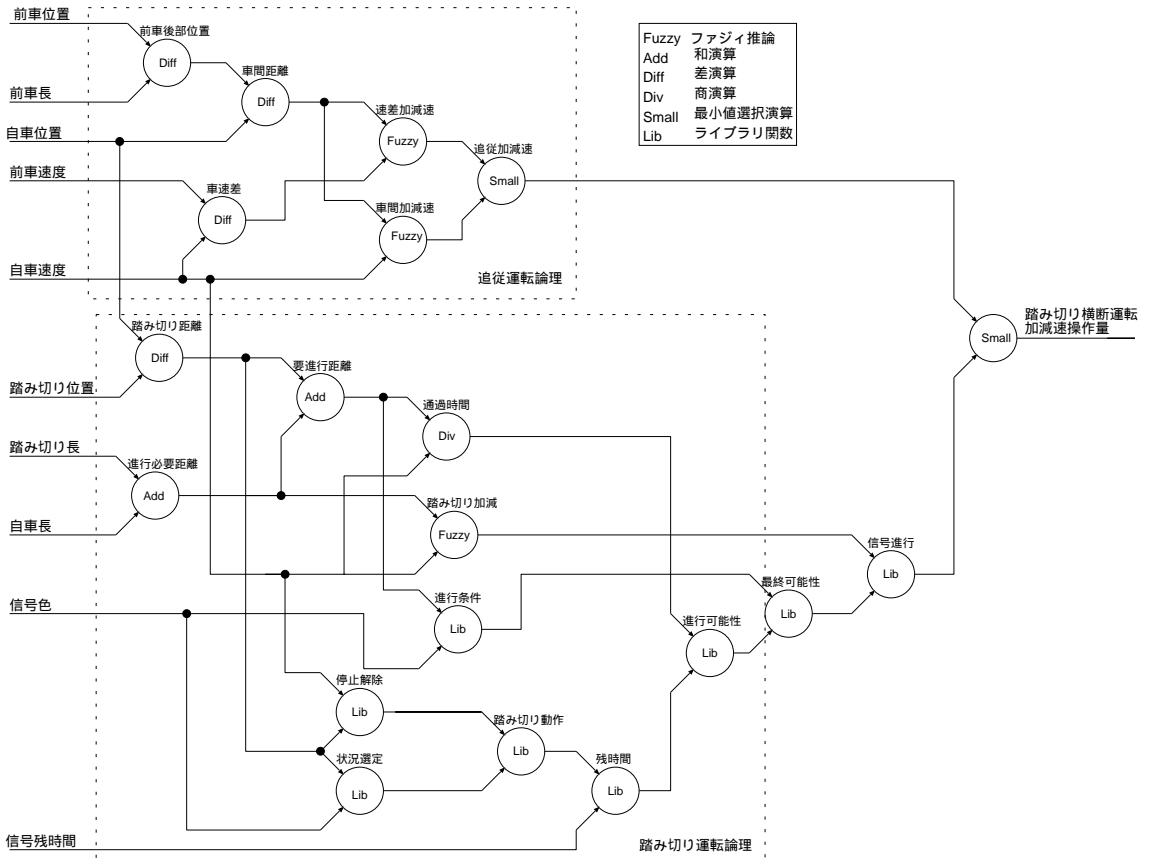


図 8 踏切り横断運転動作モデル
Fig. 8 Drivers maneuvering model in railroad crossing.

転動作である。

- 踏切りが閉じているときは、赤信号による停止と同様の運転動作である。

すなわち、踏切り横断運転のモデルは MITRAM ですでに構築されている信号による停止・発進モデルを拡張して構築することができる。前方に踏切りのある道路を走行する車両は、踏切りの開閉にかかわらず必ず踏切り前でいったん停止をする。したがって運転者から見た踏切りは一時停止と赤信号の組合せと見なせる。そこで一時停止を信号による停止・発進モデルで表す場合、一時停止の停止線の前までは赤信号と同じメカニズムにする。そして車両速度が 0 となった直後に信号が青となり発進する機能を付加すればよい。さらに、踏切りを通過する際には自車が踏切り内に立ち止まってしまうことのないように、踏切りを越えた先が渋滞していないかどうかを判断する必要がある。つまり、踏切りの先に自車が進行できるだけのスペースの有無を確認するのである。これらの論理は先のすり抜け運転動作モデルと同様に下位論理の追従運転論理

に踏切り特有の論理を上位論理として加えることでモデル化できる。この踏切り横断運転動作モデルを図 8 に示す。このモデルはデータを変えれば他の各種踏切りにも対応できる一般的な構造となっている。

4.2.2 シミュレーション結果

まず、本モデルを用いて踏切り周辺での車両の挙動を車両速度の変化から検証する。図 9 に踏切り周辺での車両の速度変化をグラフで示す。踏切り前では停止線に向かって減速を行い、一時停止をする。前方に進行できるスペースを確認した後、再び加速を行い踏切りを通過している。この様子は、実際の車両の挙動をよく再現しているといえる。

次に、このモデルを用いたシミュレーションにより、踏切りによる渋滞の対応策の 1 つである「踏切りの交通信号機化(通過列車がないとき、踏切りを青信号とする対策)」の検討を行った。対象とするのは図 10 に示す JR 敦賀駅付近の舞崎踏切りである。そこでは実際に信号機化の実験を行い実測データを得ている¹⁴⁾。この実測データに基づいて、本研究とは異なる手法に

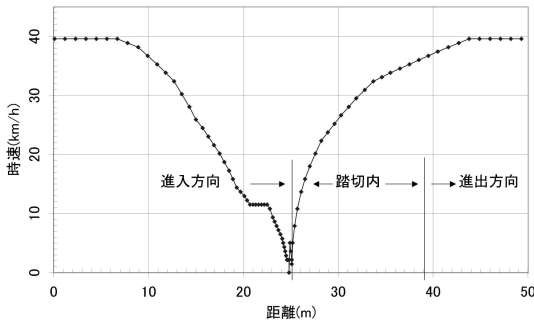


図9 踏切り横断時の速度変化

Fig.9 Speed change of vehicles in crossing a railroad.

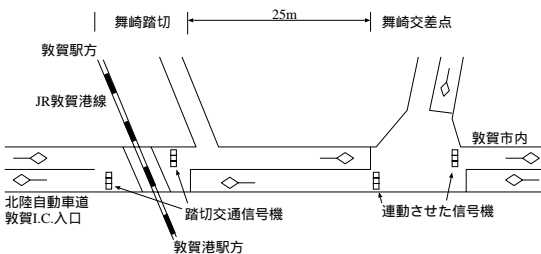


図10 舞崎踏切り周辺の道路環境

Fig.10 Road situations around Maizaki railroad crossing.

表4 踏切り信号機化のシミュレーション結果

Table 4 Simulation results in the conditions of using signals in railroad crossing.

	導入前	導入後
実測データ	24.6 km/h	33.7 km/h
文献 15) のシミュレーション	26.4 km/h	29.2 km/h
本シミュレーション	24.3 km/h	36.1 km/h

よるシミュレーションが文献 15) で行われている。そこで、実測データおよび文献 15) の結果と本モデルによるシミュレーション結果を表 4 に示す。ここでは、踏切り周辺 1.3 km における通過車両の平均旅行速度を測定している。表 4 の結果より、本シミュレーションは文献 15) のシミュレーションと比べて踏切り信号機化の効果を実測データに近い値でよくとらえていることが分かる。

踏切り信号機化について、その効果をフィールドで実測データとして得ることは一般に難しい。そこでこのようにシミュレーションによって予測することは、渋滞解析のためにきわめて重要といえる。

4.3 運転者の個人特性を考慮した運転動作モデル

運転者は運転動作においてそれぞれ個人特性を持っている。そしてその違いは平均速度や車間距離のとり方、急発進や急ブレーキといった行動に表れる。ここでは個人特性による車間距離の相違を取り上げ、これ

表5 距離感に関する個人特性を考慮したモデルによるシミュレーション結果

Table 5 Simulation results by model in considering the individual characteristics for sense of distance.

	距離感の混合割合 (%)			交通容量 [台/時]
	0, 50, 100			
A	100	0	0	1,836
B	0	100	0	1,404
C	0	0	100	1,080
D	33	33	33	1,308
E	20	60	20	1,368
F	30	60	10	1,464
G	10	60	30	1,332

をモデル化する。

そこで車間距離の相違を、運転者によって実際の車間距離と、感じる認識車間距離の格差に起因するものとする。この認識車間距離を、個人特性に応じた距離感と実際の車間距離からファジィ推論で求め、これを図 4 の追従運転論理の車間距離の部分に付加する。なお、距離感とは 0 から 100 までの範囲とする (0 は距離感が最も短く、100 は最も長いことを意味する)。このように MITRAM ではネットワーク構造モデルにしているために、運転者の個人特性を分かりやすい形でモデルに組み込むことができる。

信号のついた道路で距離感の異なる運転者の混合比率を変え車両を多数走行させてシミュレーションを行った結果、表 5 のような結果を得た。なお信号条件は青 15 秒、黄 2 秒、赤 10 秒とした。A から G の 7 つのケースを見ると、距離感が長い運転者を多く含む場合、交通容量が少なくなることが分かる。このように個人特性の違いが渋滞へも微妙に影響することが分かる。

5. おわりに

本論文では、MITRAM におけるネットワーク構造モデルを用いて、すり抜け運転や踏切り横断運転のシミュレーションを行い、渋滞解析を行った。そしてこれらのシミュレーションを通じてモデルが有効に機能することを確認した。また運転者の個人特性を考慮したモデルについてもその挙動を調べた。これらの結果より MITRAM が多様な交通状況をシミュレートできることが明らかとなった。

MITRAM では運転動作モデルとしてすでに基本的な追従運転や自由走行運転などの下位論理のモデルが作成されており、これに本論文で示した特殊な状況のモデルを上位論理としてライブラリの形式で整えていけば、様々なケースに対応した汎用なシミュレータと

して実用に供することが可能となる。今後はこのようないろいろなモデルの作成をさらに進めていくとともに、地図情報などから道路モデルを容易に構築できるようにするためのツール類の整備を行う予定である。そして実際の市街地を対象として本格的なシミュレーションを行い、渋滞解析を行う予定である。

参 考 文 献

- 1) 栗本 謙：交通道路交流通解析のデジタル・シミュレーション・モデル，土木学会論文報告集，No.320, pp.137-148 (1982).
- 2) 斎藤 威：交通渋滞予測のための道路交通現象の再現，電気学会誌，117 巻 9 号，pp.600-603 (1997).
- 3) 桑原雅夫：広域ネットワーク交流通シミュレーション，自動車技術，Vol.52, No.1, pp.28-34 (1998).
- 4) 堀口良太，片倉正彦，桑原雅夫：都市街路網の交流通シミュレータ AVENUE の開発，第 13 回交通工学研究発表論文報告集，pp.33-36 (1993).
- 5) 木俣 昇，高木秀彰，黒川浩嗣：ペトリネットによる交流通シミュレーションの開発，土木計画学研究・講演集，No.17, pp.177-180 (1995).
- 6) Morishita, S., Yamamoto, N. and Nakano, T.: 100 Traffic flow simulation system by cellular automata, *AVCE*, pp.561-565 (1998).
- 7) 猪飼國夫，本多中二，板倉直明ほか：ファジィ化微視的モデルによる渋滞解析を目的とした道路交流通シミュレータ，シミュレーション，Vol.16, No.3, pp.199-208 (1997).
- 8) 猪飼國夫，本多中二：ファジィモデルに基づく市街地での渋滞予測用微視的シミュレータ，日本ファジィ学会誌，Vol.11, No.2, pp.215-221 (1998).
- 9) 猪飼國夫，本多中二，板倉直明：道路交流通シミュレータのためのファジィ推論による自動車の運転モデル，日本ファジィ学会誌，Vol.12, No.3, pp.425-435 (2000).
- 10) 萩原 勉，猪飼國夫，本多中二，板倉直明：微視的道路交流通シミュレータにおける高度情報判断運転モデル，数理モデル化と問題解決シンポジウム，pp.201-206 (2000).
- 11) 猪飼國夫，佐藤 章：微視的道路交流通シミュレータのためのオブジェクト指向道路モデルの構築とその検証，シミュレーション，Vol.18, No.3, pp.206-215 (1999).
- 12) Yikai, K., Honda, N. and Satoh, A.: A fuzzy processor consisting of memory and controlling LSI, *5th IFSA World Congress*, pp.789-792 (1993).
- 13) 小原 誠，高橋伸夫，坂本邦宏，久保田尚：路上駐車追い越し挙動の類型化とシミュレーションシステムの開発，第 16 回交通工学研究発表論文報告集，pp.109-112 (1996).

- 14) 広浜昭一：踏切信号機の設置とその運用効果，電気学会電気鉄道研究会資料，TER-91-5, RTA-91-5 (1991).
- 15) 福田久治：道路交通と連携した踏切制御の評価シミュレーション，電気学会論文誌 D, Vol.118-D, No.4, pp.511-517 (1998).

(平成 13 年 2 月 16 日受付)

(平成 13 年 4 月 25 日再受付)

(平成 13 年 5 月 19 日採録)



猪飼 國夫

1942 年生。1964 年電気通信大学電子工学科卒業。同年電気試験所電子計算機部(現産業技術総合研究所)に勤務。1969 年電気通信大学電波通信学科助手。1972 年技術コンサルタント。1975 年(株)エム・アイ・ベンチャー代表取締役。2001 年博士(工学)。日本ファジィ学会，電子情報通信学会，日本シミュレーション学会，計測自動制御学会各会員。



石川 亮

1977 年生。2000 年新潟大学工学部電気電子工学科卒業。現在，電気通信大学大学院電気通信学研究科電子情報学専攻博士前期課程在学中。



本多 中二

1946 年生。1972 年電気通信大学電波通信学専攻修士課程修了。同年同大学電波通信学科助手。1981 年工学博士。1985 年同電子情報学科助教授。現在，同システム工学科教授。日本ファジィ学会，計測自動制御学会，IEEE 各会員。



板倉 直明

1961 年生。1990 年慶應義塾大学電気工学専攻博士課程修了。工学博士。同年電気通信大学電子情報学科助手。1993 年同講師。1996 年同助教授。現在，同システム工学科助教授。電子情報通信学会，日本 ME 学会，日本生理人類学会各会員。