

道路交通流シミュレータ

Microscopic Traffic Simulator

平田 洋介

■HIRATA Yosuke

大場 義和

■OHBA Yoshikazu

上野 秀樹

■UENO Hideki

ITS (高度道路交通システム) 関連のシステムは多くの場合大規模であり、その機能検証のために実際に車両走行試験を行うことは困難である。そのため、交通流シミュレータを利用することが多いが、従来のシミュレータは交通流を連続的な流体として取り扱うマクロシミュレータが主であり、個々の車両の挙動をシミュレーションするには不向きであった。

東芝では、大規模交通システムの研究・開発のための基盤技術として、分子動力学を応用し、車両一台一台の挙動を模擬するミクロ交通流シミュレータの開発を行っている。ミクロ交通流シミュレータは、突発事象などの不連続な現象を想定した道路システムの開発や検証などへ適用が可能である。

Intelligent transport systems (ITS) are mostly large and complex, and evaluating their functions in experiments using real vehicles is difficult. Traffic simulators are very useful and important tools from this perspective; however, most existing simulators are macroscopic and unsuitable for simulating the behavior of individual cars because they treat the traffic as a continuous flow.

Toshiba is now developing a microscopic traffic simulator based on molecular dynamics simulation for use in the R&D of large traffic systems. Such a microscopic traffic simulator can simulate the behavior of individual cars and is applicable to traffic systems that can cope with accidental phenomena.

1 まえがき

ITS 関連のシステムは、広範囲にわたる道路ネットワークと多数の車両を対象とするものが多い。このため、ITS 関連の新規システムの機能検証時やアルゴリズム開発時に、実車両を用いた試験を行うことは、時間と費用の観点から現実的ではない。そのため、高機能の交通流シミュレータが実現すれば、低コストで繰り返した試行を迅速に行うことができ、機能検証やアルゴリズム開発の効率が大きく向上する。

交通流シミュレータは、大規模道路ネットワークを対象としたマクロ交通流シミュレータと、比較的狭いエリアを対象としたミクロ交通流シミュレータに大別される。

このうち、マクロ交通流シミュレータは交通流を連続した流体として扱っているため、車線変更や避走現象のような、車両一台一台の挙動に関する現象をシミュレートするには不向きであった。

これらの問題に対応するため、東芝では車両一台一台の挙動を模擬するミクロ交通流モデルを内蔵した交通流シミュレータを開発している。ミクロ交通流シミュレータを利用すれば、次のようなことが可能になる。

- (1) 新規システムの機能検証
- (2) 新規システムの立案やアルゴリズム開発の支援
- (3) 道路整備計画(分岐合流やETC(ノンストップ自動料金収受システム)料金所設置数など)の立案

- (4) 事故や工事に伴う交通への影響評価
- (5) 交通施策(信号制御や交通規制など)の事前検討とオペレータ支援

ここでは、当社が採用したミクロ交通流モデルの概要と、開発したミクロモデルを高速道路のサグ部(下り坂と上り坂の境目の部分)と合流部に適用した例について述べる。

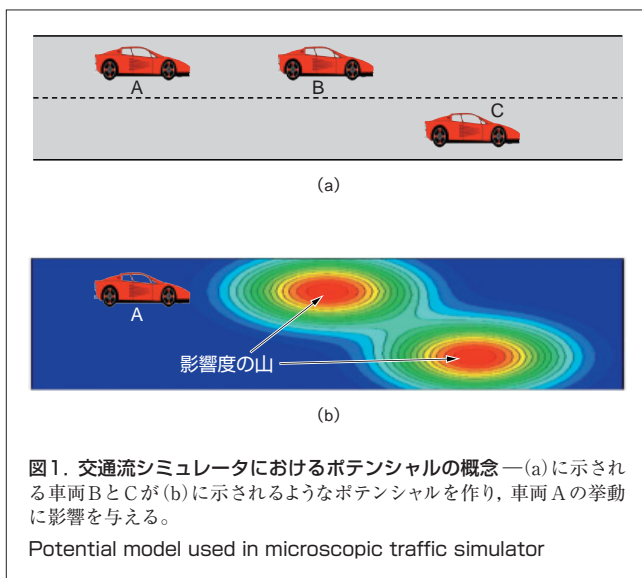
2 ミクロ交通流モデルの概要

一般のドライバーが車を運転する際には、カーブなどの道路形状に加え、周囲の車両の位置や速度を見ながら、加減速や車線変更を繰り返し、目的地に向けて進行する。ミクロ交通流モデル開発においては、このような周囲の環境をどのようにモデル化し、各車両の加減速などに反映するかが重要となる。

当社は、ミクロ交通流モデルに、物理学の分野で分子の挙動をシミュレートする分子動力学で用いられる、ポテンシャルという概念を導入した。分子動力学で用いるポテンシャルは、それぞれの分子が周囲の分子から受ける影響度の指標を数値として表すもので、分子どうしの距離が大ききときには互いに影響を及ぼさないが、分子どうしの距離が小さくなると反発力や引力を生じさせるものである。

ミクロ交通流モデルにおけるポテンシャルの考え方を、**図1**を用いて説明する。図1(a)に示すような2車線の道路

を走る3台の車両を考え、車両Aに着目する。車両Aの前方には車両Bが走行しており、右車線前方には車両Cが走行している。このとき、車両Aの運動に影響を及ぼす、車両BとCが作るポテンシャルは、図1(b)に等高線として示されるような、車両BとCを中心とした山を持つような分布となる。



車両Aの速度が車両Bよりも大きいとき、時間がたつにつれて、AはBに接近する。しかし、Bに近づきすぎるとポテンシャルの山から影響を受け、Aは速度を維持することができず、減速することになる。あるいは、車両Aが現在の速度を維持するには、ポテンシャルの影響が小さい右側の車線に移る必要がある。

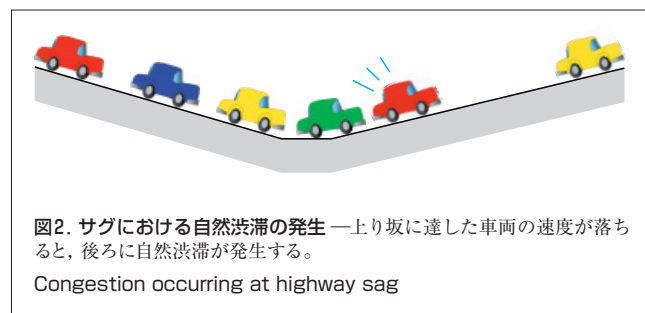
このようにシミュレーションの時間ステップごとに各車両に対する周囲からの影響をポテンシャルとして計算し、それに目標速度や目的地などのドライバーの意思を組み合わせながら各車両の挙動を決定する。

ポテンシャルモデルでは、周囲の複数の車両が作るポテンシャルを重ね合わせることで、直前車両のみならず数台先の車両も考慮することができる。したがって、車線変更時に、隣車線のすぐ後ろを走行する車両の後ろに高速の車両が存在する場合には車線変更を控えるなど、きめこまかいアルゴリズムも容易に作成できる。また、例えば故障車両などが存在する場合にも、実際のドライバーと同様に、数台前からその状況を考慮した判断を模擬することができる。更には、障害物もポテンシャルとして、他車両と同様な形でモデルの中に組み込むことができる。

このような、他車両が作るポテンシャルの計算に、車両の大きさや自車両の速度、自車両と前方あるいは後方を走行する車両との速度差などを考慮することにより、より自然な交通流の再現が可能になる。

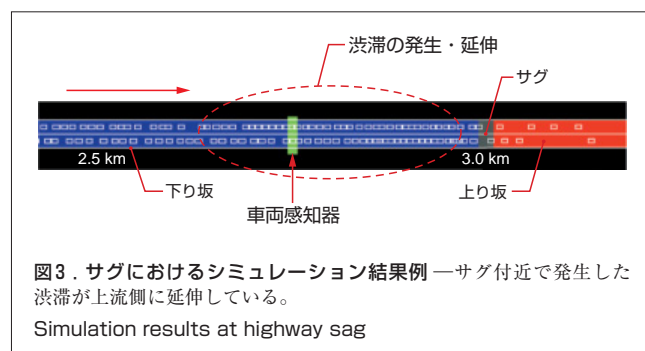
3 サグ部における自然渋滞発生の再現

前節で記したマイクロ交通流モデルを用いて、高速道路でのサグにおける自然渋滞の発生を再現した。一般的なサグにおける自然渋滞発生の概要を図2に示す。サグでは、下り坂から上り坂にさしかかったときに、気づかぬうちに速度を低下してしまう車があるため、車間距離が縮まった後続車が次々にブレーキを踏み、渋滞へ発展すると考えられている。



ここでは、シミュレーション体系として、2車線、全長6kmの一方通行の道路を考える。中央付近に、600mの下り坂、50mの水平部、300mの上り坂を想定する。この体系に、目標速度を時速60km～100kmの間でランダムに設定した車両を走行させる。

図3は、この体系を用いたシミュレーション画面のスナップショットから、サグを含む1kmの領域を拡大したものである。図3において左側が上流、右側が下流である。道路上で青く示しているのが下り坂、赤く示しているのが上り坂であり、その境界がサグである。また、道路を横切る形で表示されているバーは、車両感知器を模擬したもので、設置地点を1分間に通過した車両台数(交通量)と平均速度を計測している。



このシミュレーション体系は見通しのよい直線道路であるにもかかわらず、図3では渋滞が発生するようすが再現されている。更に、渋滞に巻き込まれた車両が停止と発進を繰り返すことにより、サグ下流の上り坂で発生した渋滞がサグ

上流の下り坂部へと延伸していくようすも再現できている。

図3中の車両感知器で計測された平均速度から換算した車両密度と交通量の関係を図4に示す。車両密度が小さいときは渋滞が発生していないため、交通量は密度に比例して増加するようすが見られる。一方、車両密度が大きい領域では渋滞が発生するため交通量が減少するという、一般的によく観察される交通特性を再現している。

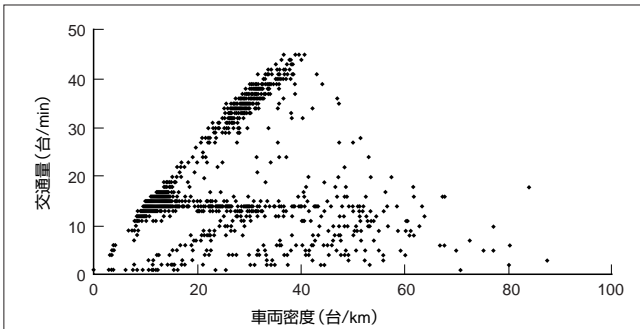


図4. サグにおける密度-交通量曲線(Q-Kカーブ) —車両密度が低いときには交通量は車両密度に比例して増加し、車両密度が高いときには渋滞が発生して交通量は低下する。

Relationship between traffic density and traffic volume before sag

4 高速道路合流部最適化への適用検討例

高速道路では、サグのほか、合流部においても渋滞が多々発生する。スムーズな交通を維持するためには、道路設計時に、合流部の車線構成を最適化することは重要な課題である。しかし、場所や時間帯によって交通条件は変化するため実験による最適化は困難であり、交通流シミュレータへの期待は大きい。

この検討で用いたシミュレーション体系を図5に示す。図5(a)では、本線は2車線で全長は2kmであり、左側から右側へと交通は流れている。本線入口から520mの位置で始まる分岐領域は長さが200mであり、全長900mの分岐線へとつながっている。一方、全長1,000mの合流線は、本線入口から1,080mの位置で始まる合流領域を通じて、本線へと接続されている。更に、図5(b)では、合流領域と並行した区間(本線入口から見て、900mから1,800mの領域)に待避線を設け、本線を走行する車両を待避線に導くことにより合流部での渋滞発生を緩和しようとするものである。

また、本線入口から350mと1,850mの位置に車両感知器を置き、この位置を1分間に通過する車両台数(交通量)と平均速度を計測している。ここで、本線、分岐線、合流線の平均速度はそれぞれ100km/h、60km/h、100km/hに設定し、各車両の目標速度は平均値の回りに10%の分散を持つようにランダムに設定した。そのほか、交通量など道路パラメータ

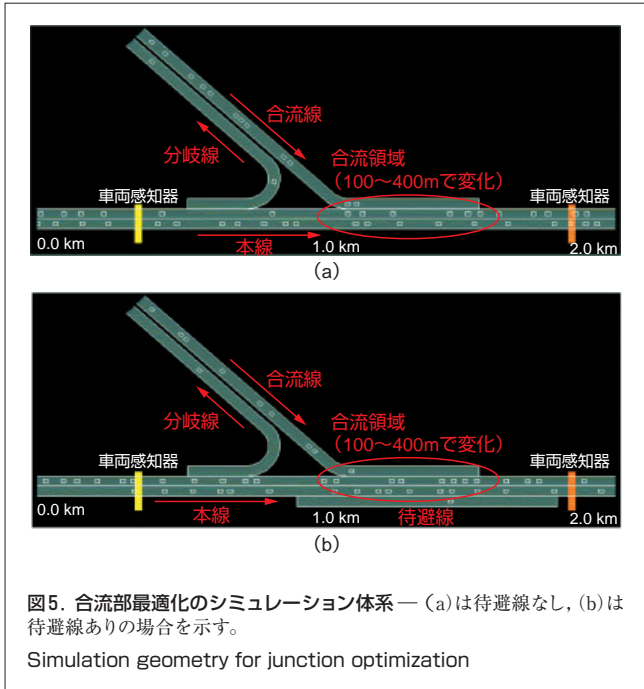


図5. 合流部最適化のシミュレーション体系 — (a)は待避線なし、(b)は待避線ありの場合を示す。

Simulation geometry for junction optimization

表1. シミュレーションの設定パラメータ

Major simulation parameters

項目	本線	分岐線(分岐部を含む)	合流線(合流部を除く)
長さ (m)	2,000	1,100	1,000
車線数	2	1	1
平均速度 (km/h)	100	60	100
平均交通量(台/min)	25	2.5	10

についての設定値を表1に示す。

合流部の最適化検討では、合流領域の長さを100m~400mの間で100mごとに変化させた体系に対してマイクロ交通流シミュレータを10時間実行し、その間の渋滞発生状況を観察して最適な合流部の長さを決定した。

図6は、合流領域を100mに設定した待避線のない

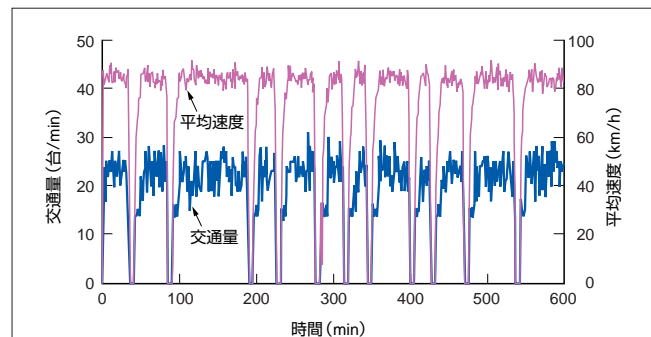


図6. 本線入口から350mで計測した交通量と平均速度 —平均速度、交通量ともに0である時間領域は渋滞が発生している。

Congestion measured during 10-hour simulation

シミュレーション体系に対して、本線入口から350mの位置(図5の黄色のバーに対応)で計測した1分間当たりの交通量と平均速度の時間変化を示したものである。交通量、平均速度の両方が0になっている時間帯は、渋滞により交通が停止していることを示している。したがって、このシミュレーションでは、シミュレートした10時間に11回の渋滞が発生していることになる。

同様に、待避線がない場合とある場合に対して、合流領域を200m、300m、400mと変化させて、10時間の渋滞の発生回数を比較した結果を図7に示す。横軸は合流領域の長さである。比較においては、それぞれの合流領域の長さに対して、乱数を変えた試行計算を10回行い、その平均値を算出して比較した。図7において、中央値は渋滞発生回数の平均値を示し、誤差棒は標準偏差である。

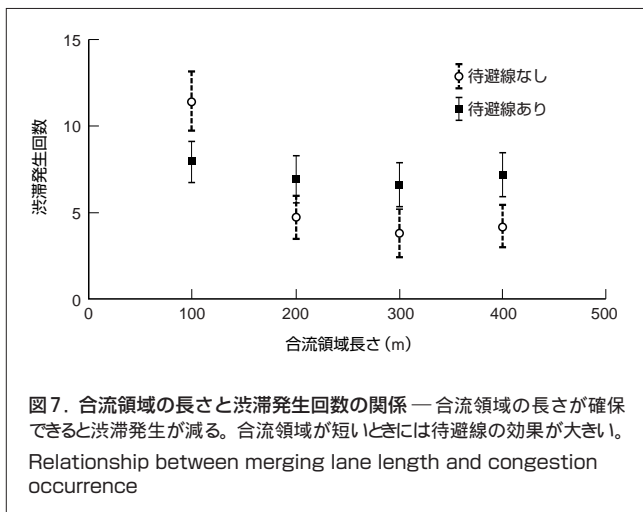


図7. 合流領域の長さと渋滞発生回数の関係—合流領域の長さが確保できると渋滞発生が減る。合流領域が短いときには待避線の効果が大きい。
Relationship between merging lane length and congestion occurrence

図7から、以下のような傾向がわかる。

- (1) 待避線がない場合には、渋滞発生回数に対する合流領域の長さにはしきい値があり、このシミュレーションの場合、しきい値は100mであった。
- (2) 待避線がない場合には、ある値(このシミュレーションでは200m)より合流領域が長ければ、合流領域の長さは渋滞発生に大きな影響は与えない。
- (3) 合流領域の長さが(1)のしきい値よりも短い場合、待避線の効果は大きい。
- (4) 合流領域の長さが(1)のしきい値よりも長い場合、待避線の効果はあまり大きくない。これは、待避線終了位置で、待避線から本線への車線変更により渋滞発生が引き起こされることが原因と考えられる

以上のように、限定された体系ではあるが、マイクロ交通流シミュレータが合流部最適化に使用できることがわかる。

5 あとがき

当社で開発を行っているマイクロ交通流シミュレータについて、ポテンシャルを用いたマイクロ交通流モデルの概要を述べ、マイクロシミュレータを用いた密度-交通量曲線(Q-Kカーブ)の再現、及びマイクロシミュレータを用いた高速道路合流部の最適化検討例について示した。

ポテンシャルを用いたマイクロ交通流モデルの利点は以下のようなものである。

- (1) 周囲の複数の車両が自車両の挙動に与える影響を、容易に評価することができる。
- (2) 車両の大きさや自車両との速度差などをポテンシャルに取り込むことにより、現実に近い交通流の再現が可能になる。
- (3) 故障車両や障害物についても同じようなポテンシャルとして考慮することができ、拡張性が高い。
- (4) ポテンシャルにドライバーの意思を組み合わせることにより、自然な車両の挙動を再現することができる。

このようなマイクロ交通流モデルを用いて、サグにおける自然渋滞の発生を再現できることを示した。このとき得られた密度-交通量曲線は、車両密度が小さい領域では交通量が車両密度に比例して増加し、車両密度が大きい領域では渋滞が発生して交通量が減少するという、一般的な交通特性を再現することができた。更に、このマイクロ交通流シミュレータを、高速道路の合流部設計への適用検討を行った。そして、限定的な体系ではあるが、現状のシミュレータが最適化に適用可能であることを示した。

今後は、実交通流との比較によるモデルのチューニングを進めると同時に、より大きな体系への適用を目指して開発を進める。



平田 洋介 HIRATA Yosuke, D.Eng.

電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センター システム解析技術開発部主務, 工博。分子動力学を中心としたマイクロ解析技術の開発に従事。日本物理学会, 米国物理学会会員。
Power and Industrial Systems Research and Development Center



大場 義和 OHBA Yoshikazu

電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センター 社会システム開発部主務, 工博。道路, 鉄道など交通インフラシステムの研究・開発に従事。電気学会, 計測自動制御学会会員。
Power and Industrial Systems Research and Development Center



上野 秀樹 UENO Hideki

電力・社会システム社 社会システム事業部 官公システム技術部。システムエンジニアとして道路交通システムの開発に従事。交通工学研究会会員。
Infrastructure Systems Div.