

[招待講演] 最近の渋滞現象への取り組みと交通シミュレーション 開発の動向

堀口 良太[†]

†株式会社アイ・トランスポート・ラボ 〒162-0824 東京都新宿区揚場町 2-12-404

E-mail: †horiguchi@i-transportlab.jp

あらまし 本稿では、土木・交通分野の実務におけるシミュレーション利用の実態と方向性を紹介した後、近年の高速道路合流部やサグ部における、微視的な視点での新たな渋滞現象解明への取り組みと、それを受けて期待される「真の」マイクロシミュレーション開発への展望について述べる。

キーワード 交通流, 交通シミュレーション

State-of-the-art of the Recent Efforts on Traffic Survey and Simulation Model

Ryota HORIGUCHI[†]

†i-Transport Lab. Co., Ltd. 2-12-404 Ageba-cho Shinjuku-ku Tokyo, 162-0824, Japan

E-mail: †horiguchi@i-transportlab.jp

Abstract This paper, at first, introduces the utilization of traffic simulation on the practical scene in civil engineering. Subsequently, the recent effort on the precise survey for traffic flows, which will lead the simulation model to incorporate the realistic human behaviors, will be described.

Keyword Traffic flow, Traffic simulation

1. はじめに

1.1. 交通シミュレーション利用の実態

1990年代以降、国内外で数多くの動的交通シミュレーションモデルの研究開発が活発に報告されるようになり、実務における適用事例も頻繁に報告されるようになってきた。(社)土木学会や(社)交通工学研究会で実施された、実務者への適用事例アンケート調査結果では、広域的な交通施策評価への適用には、主としてデ

ータ取得面での課題が残るものの、比較的局所的な施策に対しては、シミュレーションによる効果予測の適用事例が増えてきた^[1]ことが示されている(図-1)。

このような市場の活性化を反映して、現在国内でも十数種を超える交通シミュレーションソフトウェアが商用で利用されるようになってきている^[2]。このうちの多くは、いわゆるマイクロシミュレーションと呼ばれるモデルを実装し、洗練されたグラフィックや操作画面を備えた魅力ある商品となっている。

1.2. ミクロシミュレーションへの批判

しかしながら、一般に入手できる文献などの資料だけでは、モデルの特質を把握することは難しい。このため「シミュレーションはブラックボックス」という批判を免れず、実務で利用されるツールとしての信頼性を十分に確立できない状況にあった。

多くのマイクロシミュレーションは、車両の追従挙動を移動ロジックの基本としている。これには、運転者の反応遅れ時間や、車両の最大加減速度、希望速度といった、多くのパラメータ設定があるため、自由度が高く、表現能力が高いように思えるが、必要とされるパラメータをどのように取得するかという問題や、設定したパラメータの値と、再現される渋滞量との関係

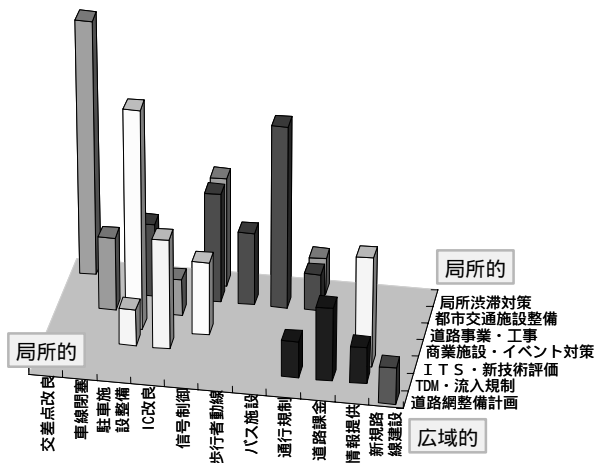


図 - 1 適用事例アンケート調査による利用
目的と評価施策の実例数

が、からなずしも明示されていないという問題が指摘される。仮に、再現される渋滞との因果関係が定量的に示されているパラメータがあっても、それはたとえば高速道路合流部のような、ごく限られた状況でのみ成立する関係であり、ネットワーク全体での交通現象全般に当てはめることには、疑問が残る^[3]。

このため、たとえシミュレーション結果が良好な再現性を示していたとしても、その基となっているパラメータの設定は何を根拠としているのかがわからず、結果として、モデルの自由度が高いために信憑性を得るのが難しくなっているというジレンマがある。また、モデルが違ったり、操作する人が違ったりすると、同じ問題設定でも出てくる答えが違ってしまふような状況も見られる。

1.3. モデル検証を通じた交通シミュレーション標準化の推進

こういった批判を受け止め、学術的な観点からシミュレーション技術の信頼性を高めるために、(社)交通工学研究会において、学識者と実務者が協同する「交通シミュレーションの標準化」を目的とした、以下のような活動が展開されている。

- 1) 商用利用されている多数のシミュレーションモデルの性質を把握するため、モデル検証^[4]を中心とした標準開発プロセス^[5](図 - 2)の適用を推奨する。
- 2) 交通シミュレーションクリアリングハウス^[2]で、モデル検証結果を公開するよう開発者、利用者に推奨する。複数のモデルが比較されることで、各モデルの適正な利用方法について、広い理解が得られることを期待している。
- 3) クリアリングハウスでの情報公開が、そのシミュレーションソフトウェアの地位向上につながるよう、業務発注者に働きかける。

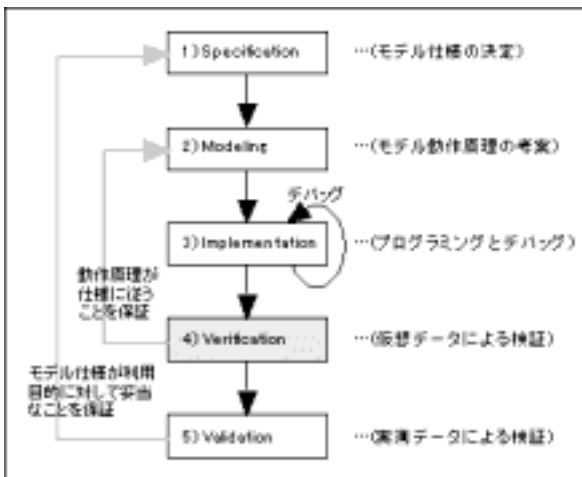


図 - 2 シミュレーションの標準開発プロセス

1.4. 対話ツールとしてのシミュレーション利用

また、実用上の課題を解消するため、データ獲得や分析結果の解釈など、実務を進める上で必要なシミュレーション適用の周辺技術について、研究事例や実例を収集し、ベストプラクティス・マニュアル^[6]として体系的に整備している。

ここで特筆すべきは、シミュレーションを使って関係者が「協議」するという行為をシミュレーション利用技術のプロセスとして、明示的に組み入れていることである。協議自体は、これまでも暗黙に行われてきたが、明示することでシミュレーションが持つ、次のような特色や役割を強調することを意図している。

- 1) シミュレーションは単なる「渋滞損失計算用電卓」であると考え、計算過程の透明性を確保して結果の信頼性向上に努める。すなわち、単に計算結果のみを提出して、その信憑性を問うのではなく、データの獲得・加工や、パラメータの設定、設定に際して必要とした仮定など、途中工程をすべて関係者に開示することを前提とした利用技術と認識する。
- 2) 利害関係や知識などの背景が異なる関係者が「対話するための共通の土俵」であると認識する。すなわち、関係者が検討の過程での問題を共有することで、各自の合理的な態度を引き出し、合意を形成するための手段と考える。
- 3) これは、計算過程を解説し、対話を取り仕切る専門家の重要性と、前提条件や仮定の設定の仕方についての関係者間での責任分担の必要性を主張するものである。

2. 新たな交通流の観測技術と渋滞解析

さて、ここまでは実務でのニーズに速やかに応えるため、シミュレーションの役割を「渋滞損失を求めるため」のツールであると割り切って、モデルの機能改良を重ねるよりも、利用者側の素養を高めることで、普及促進を図るものであった。これは、逆を言えば、シミュレーションモデル開発は 1990 年代後半から大きなブレークスルーが見いだせず、停滞している感があることに対する現実的な打開策でもある。

2.1. 個別車両の挙動レベルでとらえる渋滞発生メカニズム

新たなシミュレーションモデル開発には、新たな渋滞メカニズムの解釈が必要とされる。従来では、マクロな視点での渋滞メカニズムは「交通需要がボトルネック容量を超過して上流側へ滞留する」現象、またミ

クロでは「サグの上り坂で速度低下し、その減速波が後続車両に伝播して流率が低下」したり、「合流車両が割り込んでくるために速度低下して、流率が低下」する現象であると説明されてきた。そこでは、すべての車や運転者が「速度低下する」という特性を、統計的に見て均質な程度で持っていることが原因であるように解釈されている。

しかしながら、以前から、例えば高速道路のサグ渋滞では、渋滞直前の容量ぎりぎりの交通量レベルが持続する時間が、数分程度しか日や、1~2時間も続く日があるなど、大きくばらつくことが知られている。通過車両の平均的な運転特性が渋滞の原因となっているという解釈では、このようなばらつきは説明できないため、最近の渋滞メカニズムの研究では、特定の一車両の挙動が渋滞を引き起こすきっかけになっているという仮説に基づく分析が行われるようになってきた。

例えば Oguchi ら^[7]は、高速道路サグ部ボトルネックでの車群形成過程が容量低下に及ぼす影響を分析し、車群先頭となっている一部の車両挙動が容量低下の現象を支配していると説明する。

また、岡村ら^[8]による首都高箱崎合流部の渋滞メカニズム解析では、テーパ部での合流車両の割り込みだけが渋滞発生の原因ではなく、その上流で避走する車両や、下流の分流部手前で車線変更する車両が引き起こす後続車両の過度な減速が、場合によっては渋滞を誘起している(図-3)ことが示されている。

2.2. 個別車両の挙動をとらえる観測技術

近年になって、このような特定の車両挙動が渋滞を誘起しているという仮説に基づく分析がなされてきたのは、観測技術の発展と無縁ではない。一概にボトルネック部といっても、容量低下の現象は一点で発生するのではなく、数100m~1km程度の区間幅で発生しているので、この区間で個別車両の動きを連続して観測する技術が求められてきた。

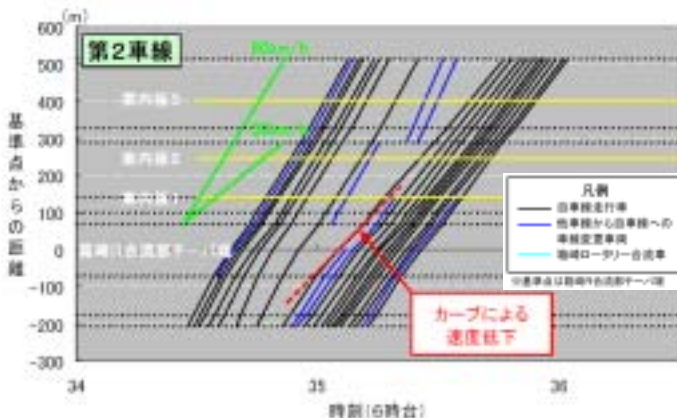


図-3 首都高箱崎合流部における車線変更車両とその後発生する減速波の実例(岡村ら^[8])

このため、従来では繫留バルーンに登載したカメラで長い道路区間を撮影する手法^[9]などを利用してきたが、撮影時間や場所の制約が大きいなど取り扱い上の課題も多かった。これに対し、赤羽ら^[10]は、路側にGPSタイムコードを利用したフレーム同期撮影が可能な複数のビデオカメラを配置し、それぞれの画像から得られた車両軌跡を合成することで、広い道路区間での車両挙動を連続してデータ化する観測技術を開発している。例えば、料金所周辺でのETC車両の挙動分析(図-4, 図-5)や、サグ部を含む1~2km程度の区間での車両挙動分析などへの活用が期待される。

また、路側での観測手法だけでなく、交通流内部での状態を連続的に観測する手法も、発展が見込まれる。東大生研を中心とする研究グループでは、RTK-GPSや加速時計などの各種センサーを備えたプローブ車両に、前後左右の車両との相対位置を計測する画像センサーやレーダーセンサーを登載し、自車の運動記述方程式から推定した走行軌跡から、周辺車両の走行軌跡も推定する方式^[11]を開発している。

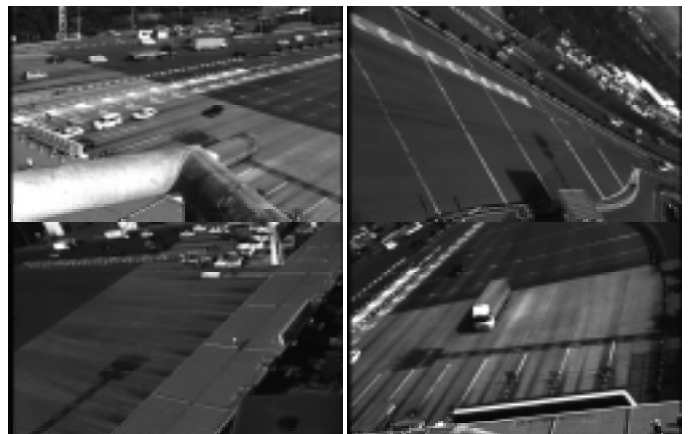


図-4 複数のカメラで広い料金所区間を同期撮影して車両挙動を分析する例

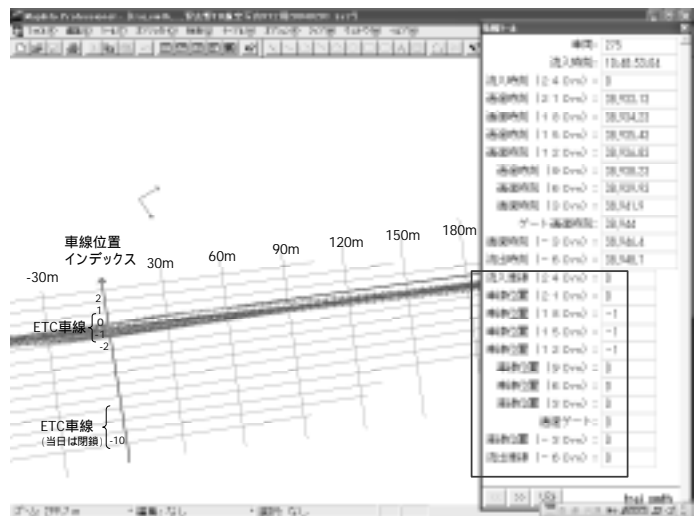


図-5 料金所周辺でのETC車両の推定挙動

いずれの手法も，車両挙動分析の研究からの精度への要求に応えられるよう，1/10 秒以下の短い間隔で，位置誤差を数 10cm 程度に抑えることを念頭に置いて，高精度，かつ広範囲に適用可能な観測手法の確立を目指している．

3. 人間の行動原理に基づく真のミクロシミュレーションへの期待

以上より，今後のミクロシミュレーションの発展には，開発者がア・プリオリに与えるモデルそのものの改良よりも，そのモデルに個人特性の現実のばらつきを反映させるための手法の開発，実用化が重要な位置を占めるようになると，筆者は考えている．これは，現状のミクロシミュレーションには，個人特性パラメータが用意されているものの，利用に際してはこれらの値を「モデルキャリプレート」と称して，試行錯誤的に設定したり，本来はある分布を示すはずの値を一定値で代表させたりする現状を鑑みれば，誰しもの同意が得られるであろう．

例えば，石田ら^[12]によるサグ部ボトルネックにおける個人特性のモデル化の研究では，車群形成過程を含む車頭間隔分布は，CHAID (Chi-squared Automatic Interaction Detector) による分析をもとに，正規乱数分布で近似できることが示されている．また，東京大学国際産学共同研究センターの「サステイナブル ITS」プロジェクト^[13]のように，車両挙動を再現する交通流シミュレーション(TS)とドライビングシミュレータ(DS)を連動させ，DSで観測される被験者の運転行動特性をモデル化し，それを TS にフィードバックして，さらに実験を繰り返すという，マンマシン系オープンループの仮想実験環境(図 - 6)も，同様の趣旨で個人特性分析への適用が期待されている．

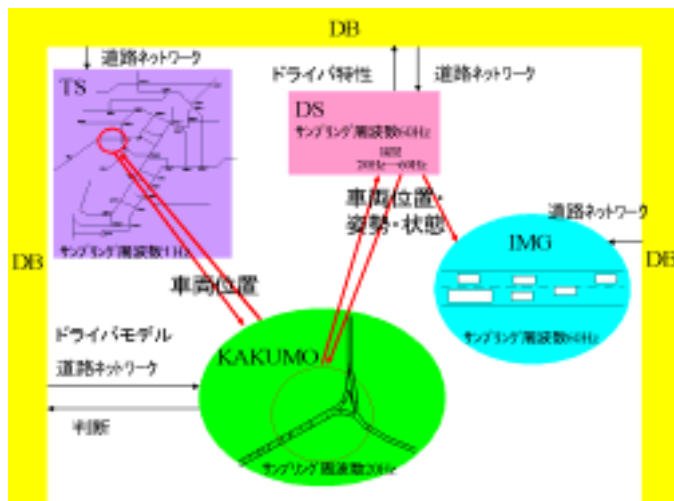


図 - 6 仮想実験室の概要

このような観測技術の発展に伴い，個人特性の分布を観測値そのままを入力して，なおかつボトルネック容量が特定車両の挙動に支配されていることが確認できるシミュレーションモデルが，そう遠くない将来に開発されるであろうと考えている．

文 献

- [1] 堀口良太，小根山裕之，"適用事例を通じた交通シミュレーション利用実態の分析と利用促進への課題"，土木学会論文集 IV，Vol.709，No.IV-56，pp.61-69，Jun.2002.
- [2] 交通シミュレーションクリアリングハウス，<http://www.jste.or.jp/sim>，2002.
- [3] 堀口良太，"アンチ・ミクロシミュレーション派のためのハイブリッドブロック密度法"，http://www.i-transportlab.jp/products/avenue/introduction/avenue_outline.html，2000.
- [4] R. Horiguchi, M. Kuwahara, Verification process and its application to network traffic simulation models, Journal of Advanced Transportation, Vol. 36, No. 3, pp. 243-264, 2003.
- [5] 赤羽弘和，大口敬，吉井稔雄，堀口良太，"交通シミュレーションモデルの実用化に向けての課題"，土木計画学研究講演集，No.20(1)，pp.521-523，Nov.1997.
- [6] 交通シミュレーションのススメ，交通工学研究会編，2004．
- [7] T. Oguchi, "The nature of occurrence of queued flow at capacity bottleneck of ordinary section", Traffic and Granular Flow '01, pp.494-499, 2003.
- [8] 岡村寛明ほか，"首都高速道路箱崎ロータリー合流部における渋滞メカニズムの分析"，第 29 回土木計画学研究発表会講演論文集，Jun.2004.
- [9] 陳鶴，桑原雅夫，"交通調査のためのビデオ画面上の車両走行軌跡のトラッキング手法に関する研究"，生産研究，第 49 巻，第 8 号，pp.22-25，東京大学生産技術研究所，Aug.1997.
- [10] 赤羽弘和，畠中聡志，"複数のビデオカメラによる車両走行軌跡の連続観測"，第 2 回 ITS シンポジウム 2003 予稿集，Dec.2003.
- [11] 小宮粹史ほか，"GPS 測位に基づく自車および周辺車両走行挙動観測システムの開発"，交通工学研究発表会論文報告集，pp.21-24，Nov.2004.
- [12] 石田友隆，桑原雅夫，Edward Chung，"都市間高速道路における車群特性に関する定量的分析"，土木計画学研究・講演集，Vol.28，Nov.2003.
- [13] 池内克史ほか，"産官学連携「サステイナブル ITS」プロジェクト"，第 2 回 ITS シンポジウム 2003 予稿集，Dec.2003.