

大規模ネットワークに適用可能なシミュレーションモデルの開発

吉井 稔雄

高知工科大学 社会システム工学科

はじめに

わが国の道路行政は、これまでの「量的拡大」から「質」への方向転換を迫られており、

- 1) 既存の道路を効率的に運用すること
- 2) 新規に建設する道路は必要最小限とし、その必要性を十分に吟味した上で建設すること

が求められている。例えば、渋滞の緩和による環境改善を主な目的として、東京都での実施が検討されているエリアプライシングを取り上げれば、「プライシングを実施した場合に交通にどのような変化が現れるのか」あるいは「どのような方法で実施すれば効率的であるのか」について事前に把握することが求められている。このため、東京都23区に周辺地域を加えた規模の大規模道路ネットワークを対象として、精度良く交通状況の変化を予測することが求められている。このような場面において、交通状況を予測する道具として、交通シミュレーションモデルに注目が集まってきている。一方で、これまで、交通シミュレーションモデルの大規模な道路ネットワークへの適用を妨げていた計算機の能力の問題も、急速な計算機の処理能力の向上により解消され、かつITS (Intelligent Transport Systems) 技術の進展により、シミュレーションが必要とする多くの情報を入手することができるようになった。これらの新しい情報と技術を有効に活用することで、より大規模なネットワークを対象とした実用的な交通シミュレーションモデルを構築することが可能となりつつある。

本稿では、与えられた交通量を交通ネットワークに割り振る「交通配分」に関するこれまでの研究の進展について紹介した後、各種の交通運用策・施策を実施した場合や新規路

線を建設した場合に、交通状況の変化を予測する動的ネットワーク交通シミュレーションモデルの開発およびその適用に向けて、現状の問題点を整理し、その対策として現在研究開発中の研究内容について紹介する。

交通ネットワーク配分に関する研究

交通ネットワーク配分に関する研究は、英国のWardrop¹⁾によって1952年に唱えられた2つの配分原則に始まる。2つの配分原則とは、「利用者均衡」と「システム最適化」である。前者は、「全てのネットワークの利用者は、利用可能な全ての経路に関する完全な情報を持ち、その情報に基づく最小費用経路を選択する」という仮説に基づくもので、後者は「道路網における総走行コストが最小になる」ように各交通をそれぞれの経路に振り分けるという考え方である。その後、1956年に、Beckman²⁾によって最適化問題として定式化された後、現在までに、利用者の経路選択行動を確率的に扱うなど、様々なバリエーションを持たせた配分手法が提案されている。これらは、いずれも人や車両などの移動物体を、ノードとリンク（アーク）から構成されるネットワーク上での移動に置き換え、各リンクにおける交通費用を交通量の増加関数（リンクパフォーマンス関数）として表現することでネットワークの性能を表現している。このように作成されたネットワーク上において、人や車両は上記の「利用者均衡」の概念に基づき、経路を決定する。その結果、ある一定の時間帯内において定常状態（均衡状態）が達成されるので、その状態を求めようという手法である。この手法は、交通状態の時間的な変化を扱うことが出来ないことから、静的な手法と呼ばれている。この静的な手法は、混雑が

それほど激しくなく、渋滞現象を無視してもよいレベルまでは大変に有効な手法であるが、渋滞現象を扱おうとすると大きな壁に突き当たる。渋滞現象とは、あるリンクに、その容量（性能）を超える交通が押し寄せ、リンクを通過することが出来ない交通がリンク内に滞留する現象であり、渋滞時におけるリンク旅行時間は、各リンクに滞留している車両台数と、そのときのリンクフローレートとの関係で決定されるべきものである。対して、静的な手法は、交通量で旅行時間を表現しようとするものであるから、扱うべき現象とモデルとが大きく乖離することになってしまう。このことを主な理由として、交通状態の時間変化を表現できる動的なモデルの研究が始められるに至った。

動的なモデルは、静的モデルに習って、全てのネットワークの利用者が、「**事後的に**最少費用を与える経路」を選択するという仮説に基づき、時間変化も含めた形で均衡状態を求めようとする動的利用者均衡 (Dynamic User Equilibrium; 以下DUEと呼ぶ) の考え方に始まる。さらに、もう一つ「**瞬間的に**最少費用を与える経路」を選択するとした考え方も考案された。これは、所要時間情報等により提示される瞬間的な交通状況に基づいて経路選択を行うという状況下では理に適った仮定であるが、交通状況は時々刻々変化するので、**瞬間的に**最少費用を与える経路が、**事後的に**最少費用を与える経路と一致する保証は無い。このため、DUE配分と区別して動的利用者最適 (Dynamic User Optimal; 以下DUOと呼ぶ) と呼んで区別している。これらの動的な問題に関しては、解析的に解くことが困難であり、未だ一般的な解法が確立されていない状況にある。そこで、動的モデルと静的モデルとを組み合わせた時間帯別配分³⁾が⁴⁾が開発された。この手法は、準動的配分とも呼ばれ、対象時間帯を複数の時間帯に分割し、各時間帯内においては、静的な配分と同様に定常状態を達成するように交通配分を行うというものであ

る。このモデルに関しても様々な改良がなされ、現在では、各時間帯に発生する交通量のうち、ネットワークに滞留する交通を次の時間帯に組み込むことで、渋滞現象の表現を試みている。しかしながら、この手法においても、各リンクの旅行時間を表現する変数は交通量のみであるため、渋滞現象を明示的に表現するには至っていない。そこで、1990年代からは、動的なネットワーク解析手法として、交通シミュレーションモデルを利用した手法に注目が注がれるようになってきた。

ネットワーク交通シミュレーションモデルの展開

ネットワーク交通シミュレーションモデルは、車両を流体近似して表現するモデルと、粒で表現するモデルとに分類される。車両を流体近似して表現するモデルは、区間の長さを適当に大きくとることによって計算負荷を大きく軽減することが可能であるという長所を持つが、一方で車両ごとの属性、例えば車両の目的地、ドライバーの属性、車載器の種類等の情報を、流体近似した流れの中で管理することが難しいこと、また車線変更・追越しなどのマイクロな車両挙動の表現を、粒で扱うモデルほど直接的には行えないという短所を持つ。現在までに、様々な交通シミュレーションモデルが開発されてきたが、1990年代以降は、ドライバー属性・ドライバーが受け取ることが出来る情報の質と量などを、車両あるいは車両グループ単位で制御することが可能な粒表現のモデルが主流となってきている。各モデルの詳細に関しては、文献⁵⁾にまとめられているので、そちらを参照されたい。

動的なネットワーク配分を支援するネットワーク交通シミュレーションモデルは、1970年代のCONTRAM⁶⁾他、SATURN⁷⁾他⁸⁾の開発に始まる。前者は、粒表現のモデルであり、後者は、流体近似表現のモデルであるが、両モデルともに、繰り返し計算をすることで、動的な均衡状態 (DUE) の再現を試みたものである。しかしながら、当時は計算機性能が低か

ったこともあり、大規模な道路ネットワークを対象として扱うことが困難であり、かつ異なる車両の属性を扱うことが出来ないという制約があった。その後、多くの交通シミュレーションモデルが開発されてきたが、DUEの再現を目指したモデルは少なく、多くのモデルがDUOを表現しようとするものである。大規模な道路ネットワークを対象としてDUOを再現しようとした交通シミュレーションモデルとしては、1990年前後に開発されたINTEGRATION⁹⁾、DYNASMART⁹⁾、東大生研モデル¹⁰⁾などが挙げられる。その後、1990年代後半以降は、無数のモデルが開発され、現在に至っている。こういった交通シミュレーションモデルを用いた解析は、多くの交通現象を取り込んだ交通シミュレーションモデルが、全体としてどのようなパフォーマンスを示すのかについて十分な知識を得た上で行われなければならない。しかしながら、これまでは、交通シミュレーションモデルを用いた解析方法に関してのしつかりとした整理がなされていなかったために、パフォーマンスに関する十分な知識を得た上で解析が実施された事例は少ない。そこで、現在、交通シミュレーション研究自主研究委員会¹¹⁾において、様々な目的に応じて利用される交通シミュレーションの適用方法、ならびに最低限共有しておくべき注意事項を整理し、適切なシミュレーション解析が実行されるための適用マニュアルを作成中である。マニュアル完成後は、今まで以上に有効かつ適切に交通シミュレーションモデルの利用がなされることを期待している。

現状における課題とその対応

本節では、大規模ネットワークを対象とした交通シミュレーションモデルの開発・適用に際しての現状の課題を整理し、その対応策を提示する。

1) 交通シミュレーションモデルの検証

交通シミュレーションモデルが構築されれば、その動作確認を行う必要がある。すなわち、モデル化した内容に従って交通状況を忠

実に再現しているかどうか確認すること(Verification)が必要となる。さらに、実データを用いて、シミュレーションモデルの再現性を検証(Validation)することも、モデル化されていなかった重要な現象を見つけるという意味において重要である。しかしながら、これらの作業のうち、前者については、モデルの開発者が独自に行ってきたため、第三者にはわかりにくいものであったし、後者に関しても、「検証に必要なデータを獲得することが容易ではない」ということが大きな障害となってほとんど行われてこなかった。今後は、これらの検証方法について、その方法(手順)を確立することに加えて、容易に検証を行うことが出来る環境を整えることが重要な課題であるといえる。また、共通のデータを用いた検証を行うことで、複数のシミュレーション間の比較を可能にすることから、現在検証用の共通データセット¹¹⁾を整備している。

2) シミュレーション結果の解釈

交通シミュレーションの出力結果がどの程度信用できるものなのかについて、吟味することは非常に重要である。そのためには、入力値に関しての感度分析を十分に行った後、統計に用いられる信頼区間のように、ある程度の幅を持った結果を導くことが必要である。なお、「結果がどの程度の信頼性を持つものか」という問題に関しては、一般的な議論をすることが困難であるので、個別のネットワークを用いた検証が必要とされる。この結果の解釈の仕方に関しては、一定の基準を作成して、交通シミュレーション適用マニュアルにおいて提示する予定である。

3) 入力データ獲得およびパラメータ設定

交通シミュレーションモデルを適用する際には、モデルに含まれる多くのパラメータやOD交通量といった入力値を設定する必要がある。これらの作業には多くの労力を必要とするため、交通シミュレーションモデル適用の経験の蓄積に大きな障害となっている。例えば時間帯別のOD交通量が入力データとして必要となる場合、現状ではアンケート等による

サンプリング調査を拡大する方法、路側の観測交通量を用いて推定する方法、あるいはその両方を組み合わせた方法を用いて推定されている。しかし、いずれの方法も非常に手間がかかる、精度に問題があるといった問題点を抱えている。最近では、AVI（自動ナンバープレート読みとり装置）等のITS機器を用いて直接ODを観測することも可能になってきているが、全てのOD交通量を観測するというのは非現実的であるので、こういった各種観測データを組み合わせて、簡便に高精度のOD交通量を獲得する方法の確立¹²⁾を行っている。一方、パラメータの設定に関して、現状では、熟練者がシミュレーションを繰り返し実行することで各パラメータ値の微調整を行うという方法に頼っている。そこで、「手間を省く」というだけでなく、「誰がやっても同じ結果が得られる」ように、自動的にパラメータを設定する方法¹³⁾の開発に取り組んでいる。

4) ODレベルとネットワークレベルの整合性

大規模な道路ネットワークを対象として交通シミュレーションを実行する場合には、用意するOD交通量のきめ細かさのレベルと、道路ネットワークの詳細度のレベルを一致させることが難しい。一般的に、交通シミュレーションを実行する道路ネットワークは、シミュレーションの再現精度を考慮して、全ての道路を含んだものではなく、主要幹線道路を中心に作成された簡略化した道路ネットワークを用いる。このとき、用意したOD交通は、対象とする道路ネットワーク以外の道路を通行する交通も含まれることになるので、用意したOD交通量をネットワークにロードすると、各リンクには、実際の交通量以上の交通が流れることになってしまう。そこで、各交通が選択することが可能な全ての道路をネットワークに含めるために、主要幹線道路リンクと細路路エリアリンクから構成される「ハイブリッド型の道路ネットワーク」を考案し、考案したネットワーク上で、交通状況を精度良く再現することが可能な交通シミュレーションモデルの開発¹⁴⁾を進めている。

今後の展望

大規模な道路ネットワークを対象として、各種の交通運用策・施策を実施した場合や新規路線を建設した場合に、十分な精度を確保しながら交通状況の変化を予測する動的ネットワーク交通シミュレーションモデルの実用化に向けて、本稿で整理した問題解決のための技術（手法）を開発していきたい。

【参考文献】

- [1] J. G. Wardrop : Some Theoretical Aspects of Road Traffic research, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part II, pp352-378, 1952.
- [2] M. Beckman, C.B.McGuire & C.B. Winsten : Studies in the Economics of Transportation, Yale University Press, new haven, 1956
- [3] 川上省吾, 溝上章志, 鈴木稔幸 : 交通量の時間的変動を考慮した道路交通量配分手法に関する研究, 交通工学, Vol. 20, No. 6, pp.17-25, 1985.
- [4] 藤田素弘, 松井寛, 溝上章志 : 時間帯別配分モデルの開発と実用化に関する研究, 土木学会論文集 No.389, pp.111-119, 1988.
- [5] 交通工学研究会編 : やさしい交通シミュレーション, 交通工学研究会, 2000.
- [6] D.R.Leonard, J.B.Tough, and P.C.Baguley : CONTRAM: a traffic assignment model for predicting flows and queues during peak periods, TRRL Laboratory Report 841, 1978.
- [7] M.D.Hall, D.Van Vliet, and L.G.Willumsen : SATURN - a simulation-assignment model for the evaluation of traffic management schemes, Traffic Engineering and Control 21, pp.168-176, 1980.
- [8] M.Van Aerde and S.Yagar : Dynamic Integrated Freeway/Traffic Signal Networks: A Routing-Based Modelling Approach, Transp.Res. Vol 22A, pp.445-453, 1988.
- [9] Peter Shen-Te Chen and Hani S. Mahmassani : A Dynamic Interactive Simulator for the Study of Commuter Behavior Under Real-Time Traffic Information Supply Strategies, TRB 72nd Annual Meeting, 1993.
- [10] 桑原雅夫, 上田功, 赤羽弘和, 森田緯之 ; “都市内高速道路を対象とした経路選択機能を持つネットワークシミュレーションモデルの開発”, 交通工学, Vol.28, No.4, pp11-20, 1993
- [11] 交通シミュレーション自主研究委員会 : モデルの基本検証(verification)マニュアル, URL=<http://www.jstse.or.jp/sim/index.html>, 2000.
- [12] 吉井稔雄, 桑原雅夫, 赤羽弘和, 堀口良太 : トラフィックシミュレーションを用いた路側観測交通量からの動的OD交通量の推定, 土木計画学研究・論文集 15, pp.461-468, 1998.
- [13] 古川誠, 桑原雅夫 : 交通ネットワークシミュレーションに用いるパラメータの自動調整法, 土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集 IV-361, 2000.
- [14] 吉井稔雄 : 大規模ネットワークへの適用時に高い再現性を確保する動的ネットワークシミュレーションモデルの提案, 第 25 回土木計画学研究講演集, CD-ROM, 2002.