

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*

Development of a new Dynamic Network Traffic Simulation Model
which can be Applied to Large Networks with high Reproducibility*

吉井 稔雄**
by Toshio YOSHII**

1. はじめに

本研究は、動的ネットワークシミュレーションモデルの実用化を目的とし、大規模道路ネットワークへ適用する際に、高い再現性を確保することが可能なモデルを構築しようとするものであり、モデルの構築と同時に OD 交通量の獲得方法など、シミュレーションの周辺技術も含めて、新しいシミュレーションモデルの構築を試みるものである。

急速な計算機の処理能力の向上、ならびに ITS 技術の進展により、多くの情報を入手し、処理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。

道路ネットワークを対象とした交通流シミュレーションモデルは、1970 年代から開発が進められている。当初は、計算機能力の制約を主な理由に、交通流を流体に近似して扱うモデルが主流であった。英国の SATURN^{[1][2]}、わが国ではブロック密度法^{[3][4][5]}などが、その代表的なモデルである。その後、計算機の能力向上を理由に、車両 1 台あるいは数台をまとめた粒（パケット、パーティクル）として扱う方法に移行し、車両ごとの属性、例えば車両の目的地、ドライバーの属性、車載機の有無等の情報を、管理することが可能なモデルへと移行している。こういったモデルの初期のものとしては、詳細は異なるものの、INTEGRATION^[6]、DYNASMART^[7]、SOUND^[8]などが挙げられる。

その後、それぞれに特徴を持った数多くのシミュレーションモデルが開発されており、現在では、それぞれのシミュレーションモデルが各種の場面で適用されるに至っている。しかしながら、例えば東京 23 区の道路ネットワークといった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、交通状況の変化を精度よく予測することが出来るシミュレーションモデルが開発されるには至っていない。

そこで、本稿では、大規模な道路ネットワークに適用可能なシミュレーションモデルの枠組みを提案する。以下では、まず適用手順について整理した後、新しいネットワークシミュレーションモデルの提案を行う。

2. シミュレーションの適用手順

シミュレーションモデルの適用の手順を、図 1 に示す。最初に、評価対象を考慮しながら、こういったモデル化をするのが適当であるか検討する。モデル化する内容が決まれば、決定されたモデルの内容に沿ってシミュレーションモデルを構築し、プログラムを作成する。続いて、作成されたシミュレーションモデルが忠実にモデルの内容を再現しているかどうかについて、仮想の交通状況を用いてチェックを行い、エラーが発見されれば、修正作業を行う。また、場合によってはモデル化した内容を忠実に再現するアルゴリズムを見いだすことが困難な場合があるので、この場合には、再度モデル化の方法から検討し直すこととなる。挙動の確認が終了すると、シミュレーションモデルがどの程度の精度で現状

* キーワード：大規模ネットワーク、シミュレーション

** 正員，博士（工学），高知工科大学社会システム工学科

（〒782-8502 高知県香美郡土佐山田町宮ノ口 185

TEL:0887-57-2406 ,e-mail:yoshii.toshio@kochi-tech.ac.jp)

を再現することが出来るのかについて検証を行うことになる。シミュレーションの検証手順は、信頼できる入力データの獲得可能性に応じて以下の2通りの手順に分類される。(例えば、入力データの中でも、OD交通量に関しては、直接観測することが困難であることから、信頼性の高いデータを獲得することが困難であると考えられる。)なお、本稿では、シミュレーションモデルに外生的に与える必要のあるパラメータ以外の入力値を「入力データ」と呼び、パラメータを含めた全ての「入力値」とと区別する。

(a)信頼できる入力データ(OD交通量)の獲得が可能な場合

信頼できる入力データ(OD交通量)が獲得可能な場合には、獲得された入力データを用い、シミュレーションモデルに含まれるパラメータの値をセットした後、シミュレーションモデルの実行に移る。ここで、シミュレーションの現状再現性をチェックし、再現性が良くない場合には、良い再現性が得られるまで、パラメータの微調整を繰り返す。それでも、良い再現性を得ることが出来なければ、入力データに大きな誤差が含まれているか、またはモデル化しなければならない交通現象を見落としていた可能性があるため、入力データの見直しやモデル化の見直しをすることになる。

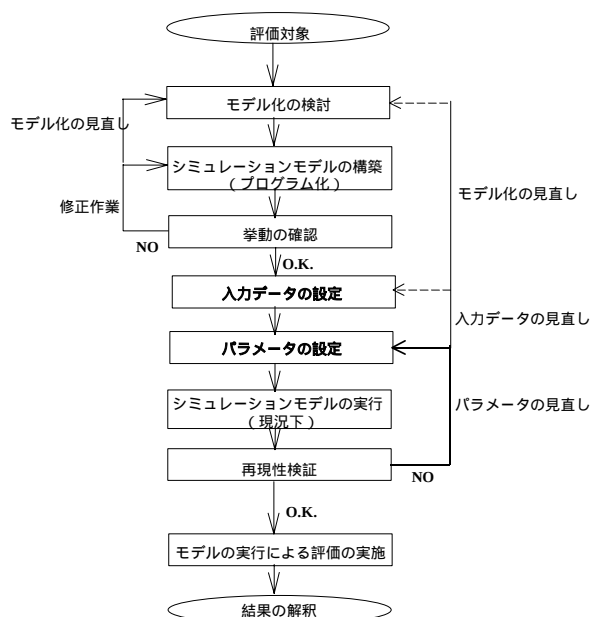


図1 シミュレーションモデル適用の手順
(高精度の入力値獲得が可能な場合)

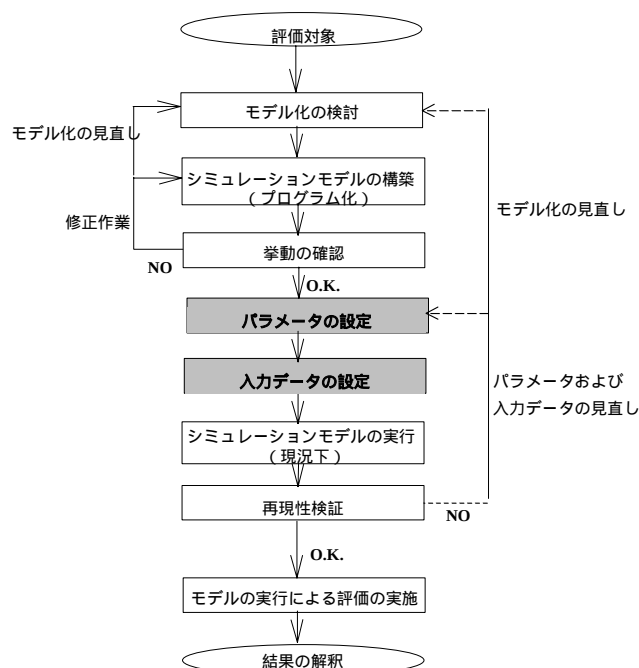


図2 シミュレーションモデル適用の手順
(高精度の入力値獲得が困難な場合)

(b)信頼できる入力データ(OD交通量)の獲得が困難な場合

精度に疑問のあるOD交通量を入力データとして用いた場合に、シミュレーションを実行しても良い現状再現性が得られなかったとすると、パラメータの誤差よりも、入力OD交通量の精度が結果に強く影響しているものと考えられる。そこで、適用手順の「入力データの獲得」と「パラメータの設定」の順序を入れ替える必要がある(図2)。「入力データの獲得」では、推定されたOD交通量を用いたシミュレーション実行時に、高い現状再現性が得られるようなOD交通量を推定することが求められる。この場合に、シミュレーションによって高い再現精度を確保することが出来ない時には、パラメータを見直した後に再度OD推定を行う必要がある。それでも高い再現性が確保されない場合には、(a)と同様にモデル化の見直しをすることになる。

一方、現状再現性をチェックして、まずまずの再現性が得られていると判断されれば、いよいよ評価の実施に移ることになる。このとき、シミュレーションモデルが出力する計算値が、どの程度信頼できるものであるのかについて充分考慮しながら結果の解釈を行うことになる。具体的には、入力値の感度分析を行った上で、最大値と最小値、あるいは平均

と分散といった幅を持った結果を出力することが求められる。

3. シミュレーションのモデル化

(1) 適用の手順

モデルの適用に際しては、これまで、OD 交通量を所与とし（入力データ）、交通容量等を調整することにより現状再現性を確保しようとする方法が一般的であった。しかしながら、前節に示したように、OD 交通量そのものの精度が保証されない場合には、パラメータのごとく扱うことが必要とされる。ここでは、前節の(a)の手順にてシミュレーションを適用することを想定するが、

1. 「OD 交通量は対象ネットワークの全ての交通を含んではない」という事実

2. OD 交通量そのものに含まれる誤差

の両者を考慮して、交通容量等のシミュレーションパラメータを決定していく。具体的に、交通容量を設定する場合を例に説明すると、その地点の本来の交通容量値を設定するのではなく、OD 交通量に含まれる誤差ならびに一般的に OD 交通量には含まれない単距離トリップの交通量が存在する事を考慮して、幾何構造と信号制御パターンから決定される交通容量値よりも小さい値を「用意した OD 交通量に対応する見かけの容量値」として設定する。

(2) モデルの概要

本研究で開発したモデルは、SOUND モデル^[9]に以下の改良を加えたものである。

(a) 車両の移動モデル

車両の移動に関しては、SOUND モデル^[9]と同様に point queue を想定したモデルである。また、ネットワークは、幹線道路（Arterial リンク）と細街路エリア（Street リンク）とから構成され、それぞれに異なるロジックを用いて車両の移動を行う。図3にネットワークのイメージ図を示す。図は Arterial ネットワークを示し、Arterial リンクで囲まれる領域（図3左下部）が細街路エリアで、図4に示すように、Street リンクが張り巡らされる。この Street リンクは全ての領域で設定可能である。

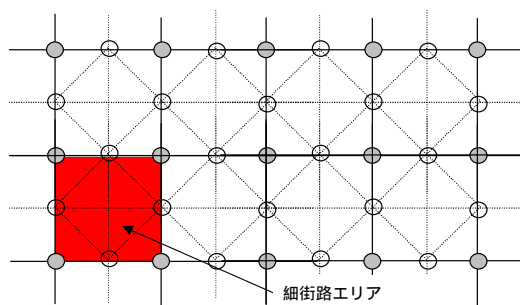


図3 ネットワークのイメージ

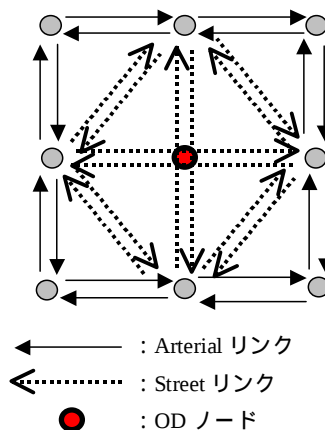


図4 細街路エリアのイメージ

Arterial リンク

Arterial リンクにおける車両の移動は SOUND モデルと同様に、各リンクに流入した交通がリンク内を自由流の速度で走行し、流出点に到達した後、流出点において待ち行列（point queue）を形成するというものである。ただし、リンク終端の交通容量は α ：右左折率による容量低下 β ：単距離トリップが通行する割合を用いて修正した値を用いている。

大規模な道路ネットワークを対象としたシミュレーションモデルでは、一般的にそのネットワークを簡略化して扱い、ゾーン単位で推計された OD 交通量をネットワークにロードして現状再現を行ってきた。しかしながら、ゾーン単位で推計された OD 交通量を簡略化したネットワークにロードする場合には、

- 現実には細街路を通過する交通も簡略化したネットワーク上にロードされる。
- 比較的短距離のトリップが抜け落ちてしまう可能性が高い。

といった問題点がある。

そこで、本研究によるモデルでは、前者を解消す

るために簡略化したネットワーク（Arterial リンク）とは別に細街路を表現するリンク（Street リンク）を用意して対応する．また，後者に関しては，OD 推計の際に抜け落ちたトリップが Arterial リンク上を通行していることを勘案して，補正係数 β を用いて対応する．すなわちここで扱うリンク容量は，OD 推計時に抜け落ちた短距離トリップの各リンク終端を通過する交通に占めるの割合を示すものである．

自由流旅行時間は，リンク内に存在する信号数等を考慮し，例えば式(1)のような簡単な式で計算する．

$$T_f = T_{\min} + a \times \frac{Q}{LS} \quad (1)$$

T_f ：自由流旅行時間

Q ：リンク終端におけるフローレート

L ：レーン数

S ：飽和交通流率

a ：信号数と距離によって決定される定数[sec]

また，渋滞列が上流へ延伸することを表現するために，リンク内に滞留可能な台数を設定する必要がある，これを，遅れ時間との関係において設定する．

Street リンク

Street リンクにおける旅行時間は，リンク交通量に依存せず，リンク流出部における Arterial リンクの交通密度にのみ依存するとして，車両の移動を簡略化して取り扱う．図5に示すように Street リンクの終端に位置するノードを起点とするリンクについて，その交通密度の jam 密度に対する割合が最大のリンクに依存して旅行時間を決定する．

(b) 経路選択モデル

提案するモデルでは，SOUND モデルと同様に経路固定層と経路選択層の2つのグループを想定し，経路固定層については SOUND モデルと同様に自由

流時の所要時間に応じて経路選択を行うが，経路固定層に関しては，確率的な Dial 配分を改め，与えられた情報に基づいて，最短所要時間を与える経路を選択するものとする．この変更は，ITS 技術の進歩により，高精度の所要時間情報が提供されるようになったため，「多くのドライバーが提供される情報に従った行動をとる」のではないかという仮定に基づいたものである．

5. 今後の課題

今後は，モデルの細部を確定し，モデルを完成させる．その後，完成したモデルの現状再現性を検証する．検証に際しては，大規模な調査を実施することにより，本ツールの検証に必要となるデータを収集する．調査では，フローティングカーによる走行軌跡の獲得，車両のナンバープレート読み取り調査等，ITS 技術を利用したデータ収集を行う予定である．また，これらの収集データに基づいて入力値を作成する方法を確立し，その入出力を支援するシステムを構築する．

【参考文献】

- [1] 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.
- [2] D.Van Vliet and M.D.Hall : SATURN 8.3 -A User's Manual-Universal Version, Institute for Transport Studies, University of Leeds, 1991.
- [3] 交通工学研究会：交通管制における交通状況予測手法に関する研究，交通工学研究会報告書，1971
- [4] 尾崎晴男：街路網信号制御の評価シミュレーションモデル (DESK)，交通工学，Vol.24，No.6， pp.31-37，1989
- [5] 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，pp.11-20，1993
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 吉井稔雄，桑原雅夫，森田緯之：都市内高速道路における過飽和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. 30，No. 1, pp.33-41, 1995.
- [9] 桑原雅夫，吉井稔雄，森田緯之，岡村寛明：広域ネットワークシミュレーションモデル SOUND の開発，生産研究 Vol.48，No.10， pp.49-52，1996.

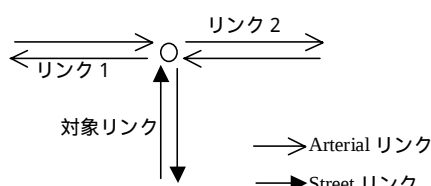


図5 Street リンク終端リンク付近の接続関係