

トラフィックシミュレーションに用いるパラメータの自動設定方法

Automated Method of Parameter Tuning which is Included in Traffic Simulation

吉井稔雄**, 桑原雅夫***

Toshio YOSHII, Masao KUWAHARA

1. はじめに

近年、多くのトラフィックシミュレーションが開発され、実務にも利用されつつある。また、動的な交通状況が再現可能なトラフィックシミュレーションモデルを用いることにより、従来の静的な配分では表現することが困難であった混雑現象（交通渋滞）を考慮することが可能となる。そこで、交通規制や新規路線の建設といった各種交通施策の評価をよりきめ細かに行うことにとどまらず、交通情報を提供することで、経路の変更、出発時刻の変更あるいはモードの変更を促すといった多種多様な経路誘導施策、あるいは交通状況に応じたリアルタイム交通管制システムといった新しい交通施策の評価をする事が期待されている。しかし、シミュレーションの実行に際しては、入力データの獲得やパラメータの設定に、専門知識を有した熟練者の非常に膨大な労力を要するということが問題となって、十分な経験を蓄積するに至っていないというのが現状である。そこで、本稿では、パラメータの設定に焦点をあて、多くのネットワークシミュレーションでパラメータとして扱われる交通容量値の設定に関して、計算機を用いた自動設定方法を提案した後、その方法を実際のネットワークとシミュレーションモデルを使って適用する。

2. シミュレーションの実行手順

図1に、シミュレーションを実行する手順を示す。まず始めに、評価対象を考慮しながら、何をどの程度まで詳細に記述するモデルを使うのが適当であるかといった、モデル化の検討を行う。続いて、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プログラムを作成する。

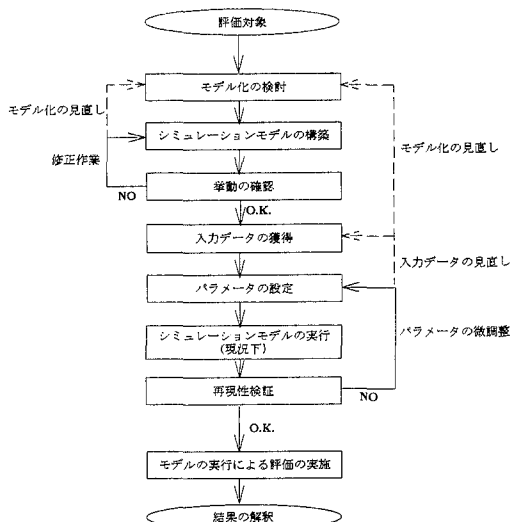


図1 シミュレーションの実行手順

さらに、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、ここで、再現状況にエラーが発見されれば、修正作業を行う。この時、場合によってはモデル化した内容を忠実に再現することが困難なことが有り、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。ここまでで、シミュレーションの挙動の確認が終了すると、続いてシミュレーションモデルが必要とする入力データを獲得する。さらに、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。一方、現状再現性をチェックして、

*キーワード：シミュレーションパラメータの自動設定

**正会員、工修、東京大学生産技術研究所

連絡先：〒106 港区六本木 7-22-1, TEL 03-3402-6231,

FAX 03-3401-6286, E-mail yoshii@nishi.iis.u-tokyo.ac.jp

***正会員、Ph.D、東京大学生産技術研究所

まずまずの再現性が得られていると判断されれば、続いて評価の実施に移ることになる。すなわち、評価したい交通状況をシミュレーションで再現して、評価指標値を計算することになる。このとき、シミュレーションモデルによって計算された値が、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必要があり、その方法の確立を進めているところである。

3. パラメータ設定方法

本稿では、前節で示したシミュレーションの実行手順のうち、パラメータの設定について、その自動設定方法を提案する。シミュレーションによって、その中に含まれるパラメータは異なるが、多くのシミュレーションモデルがパラメータとして含むものとして交通容量値が挙げられる。交通容量値については、本来、幾何構造によって定まる値であり、シミュレーションのパラメータではないという考え方もあるが、実際には、幾何構造から交通容量値を正確に設定することは困難であり、この設定値の微妙な違いによって結果は大きく異なったものとなる。そのため、シミュレーションモデルの高い現状再現性を確保するためには、交通容量値をパラメータとして扱い、微調整を行うことが不可欠の作業となる。そこで、交通容量値の微調整の方法について提案する。

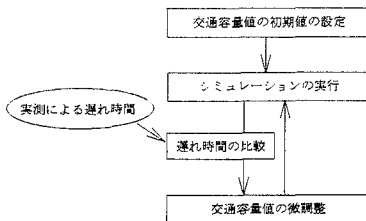


図2 パラメータ自動設定の概要

図2に、提案する自動設定の概要を示す。最初に、全てのリンクについて、幾何構造をもとにおおよその容量値を設定する。この時、ボトルネック以外のリンクでの交通容量の設定値は、そこが新たにボトルネックとならない限りは、結果に与える影響は小さいと考えられるので、ここでのおおよその設定値を採用し、微調整は行わないものとする。続いて、シミュレーションモデルを実行し、予め観測されている時間帯毎の旅行時間の観測値とシミュレーションモデルが再現する旅行時間とが一致するように、

そのボトルネックにおける交通容量値を修正する。

4. 交通容量値の微調整

本章では、交通容量値の微調整の方法について述べる。設定の際には、

- 1) ボトルネック箇所ならびにそこを原因とする渋滞の発生時間帯が予め与えられている
- 2) 時刻 t にボトルネックを通過する交通の遅れ時間 $D_{obs}(t)$ が実測によって観測されている（ここで、遅れ時間は、観測された旅行時間から予め想定した自由流速度による旅行時間を差し引くことにより求める。）
- 3) OD交通量は、経路も含めて予め与えられるものとし、観測された遅れ時間とシミュレーションの遅れ時間との一致を目指すこととする。

a. 待ち行列理論

最初に、待ち行列理論を用いて、単一ボトルネックにおける point queue を仮定した場合の損失時間について考える。図3は、ボトルネックに流入する累積交通量を折れ線 $abcqde$ に、流出の累積交通量を折れ線 $abrde$ によって示したものであり、時刻 T_1 から渋滞（待ち行列）が発生し、時刻 T_2 にその渋滞が解消する状況を表現している。このとき、ボトルネック容量 μ を調節して、時刻 t にボトルネックを通過する交通の観測による遅れ時間 $D_{obs}(t)$ と、この待ち行列の遅れ時間とを一致させる方法は以下の通りである。

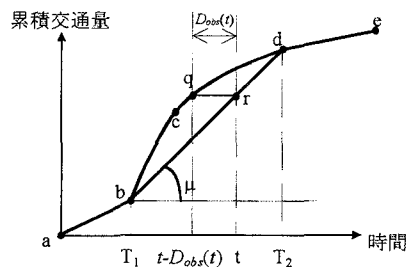


図3 point queue を仮定した場合の設定方法

- 1) 需要曲線 $abcqde$ を描き、
 - 2) その曲線上で、時刻が $t - D_{obs}(t)$ となる点 q を求める。
- この点 q における交通が時刻 t にボトルネックを通過すれば、その遅れ時間は $D_{obs}(t)$ に等しくなるのであるから、
- 3) 時刻 t で累積流出交通量が点 q に等しくなる点 r

を求め、

- 4) 点 r と渋滞が発生する時刻を示す点 b を直線で結び、

得られた直線 br の傾きが設定すべき交通容量値となる。

b. シミュレーションへの適用

前節の方法をシミュレーションに応用すると、以下の手順になる。

- 1) 全ての交通容量を大きく設定する (図5の μ_{init})
 ことで、渋滞が発生しない交通状況を作成し、その中で、ボトルネックを通過する車両の台数をカウントすることにより、ボトルネックにおける需要曲線 $abcqde$ を作成する。
- 2) 前節の手順 (2)-4) に従い設定すべきボトルネック交通容量 μ を求める。

ここまでで、単一ボトルネックかつボトルネックの上流の渋滞区間に交通の流入・流出が無い場合には、新しい交通容量値を用いたシミュレーションを実行することで、概ね観測値に等しい遅れ時間が再現される。しかし、一般的には上流側の合分流の影響を受けて正確には再現されない。例えば、渋滞区間にオンランプがある状況 (図4) を考えると、オンランプでの発生交通量は、待ち行列 (渋滞) に割り込むことになるので、渋滞区間よりも上流から発生した交通にとっては、上流区間 (図4参照) で被る遅れ時間によって、オンランプから自分の前に割り込む交通量が、point queue で考えた場合よりも多くなってしまいます。すなわち、point queue で考えた需要がボトルネックを流出する際に、First In First Out (FIFO) 原則が守られないことになる。すなわち、図5の点 q に相当する交通は、オンランプから割り込む交通の影響でそのボトルネック通過の順序が pq だけ後ろになり、点 r の時刻でボトルネックを通過することになる。そこで、

- 3) 決定された交通容量値を用いて、シミュレーションを実施し、渋滞区間の上流側から発生し、時刻 t にボトルネックを通過する車両について、遅れ時間 ($D_{sim}(t)$) を計測する。
- 4) 3) で得られる遅れ時間 $D_{sim}(t)$ が、観測による遅れ時間 $D_{obs}(t)$ に一致すれば、設定は終了。そうでなければ、
- 5) 需要曲線上の時刻 $t - D_{sim}(t)$ に相当する点 q を求

め、時刻 t における累積流出交通量 (点 r での累積交通量) と点 q との差を計算する (図5の線分 pq に相当する台数)。

- 6) そこで、点 r の上方に $rr' = pq$ となるように点 r' を求め、
- 7) 点 r' と渋滞が発生する時刻を示す点 b を直線で結び、得られた直線 br' の傾きを次に設定する交通容量値とする。

この時、点 q' に相当する交通は、(pq に相当する台数分だけボトルネック通過順序が下がる) とし、遅れ時間 $D_{obs}(t)$ で時刻 t に (点 r' で) ボトルネックを通過することになる。

- 8) 交通容量値が収束するまで、手順 3)-7) を繰り返す。

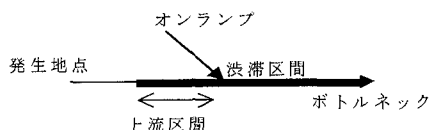


図4 FIFO原則が成り立たなくなる例

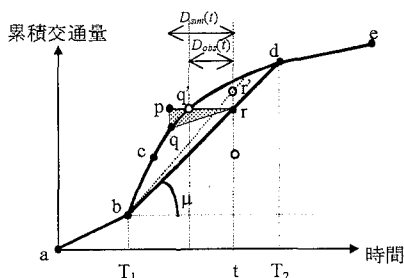


図5 交通容量値の設定方法

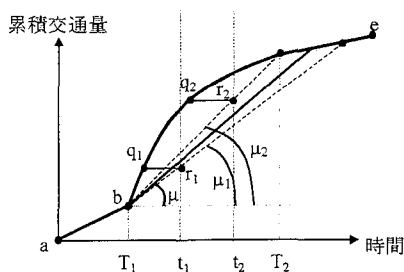


図6 複数の観測値がある場合の設定方法

また、複数の時刻について、その遅れ時間 $D_{obs}(t)$ が観測されている場合には、

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i}{n} \quad (1)$$

n : 観測時間帯の数

μ_i : i 番目の観測時刻 t_i にボトルネックを通過する交通の遅れ時間を一致させるために手順(2)で決定される交通容量値

として、交通容量値を設定する (図6)。

5. 実ネットワークへの適用

前章で提案した自動パラメータ設定方法を図7に示す首都高速道路3号線ネットワークに適用した。シミュレーションモデルには SOUND モデル²⁾を用い、交通データは平成2年10月18日の感知器データを使用し、OD交通量は同日の調査をもとに推定された第20回首都高速道路交通起終点調査結果²⁾を用いる。また、対象時間帯は午前4時～11時の7時間とした。図中に区間内の3箇所のボトルネックを示す。ボトルネックは、

- 1) 上流側リンクの30分平均の速度が渋滞判定速度 (40km/h) 以下である
- 2) 下流側リンクの30分平均の速度が渋滞判定速度 (40km/h) 以上である

の条件をもって判定した。表1に各ボトルネックを先頭とした渋滞が発生していた時間帯を示す。



図7 首都高速道路3号線ネットワーク

表1 ボトルネックとなっている時間帯

BN	5時	6時	7時	8時	9時	10時
a						
b						
c						

ボトルネック a を対象として、7時に通過する交通の遅れ時間 (観測数: 1) を再現するように、交通容量値を設定した場合について、繰り返し回数に対応する交通容量値の変化ならびに各時点での観測値とシミュレーション値の遅れ時間の差を図8に示す。容量値を交互に増減させながら収束していくこと、ならびに収束後はシミュレーションによる遅れ時間が観測による遅れ時間を再現していることが確認できる。

続いて3箇所のボトルネックそれぞれについて、いずれも30分おきにボトルネックを通過する交通の

遅れ時間 (観測数: 複数) を対象として交通容量値を微調整する繰り返し計算を実行した。その結果、繰り返し回数に対応する交通容量値の変化を示したのが図9である。図より、いずれのボトルネックにおいても数回の計算で収束していることが読みとれる。すなわち、本手法を用いることにより、繰り返し計算の中にシミュレーションの実行が含まれるが、数回の繰り返し計算で交通容量値の微調整を行うことができる。

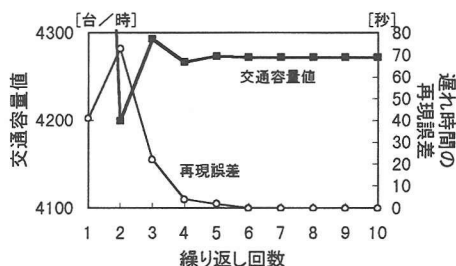


図8 交通容量値の変化 (観測数=1)

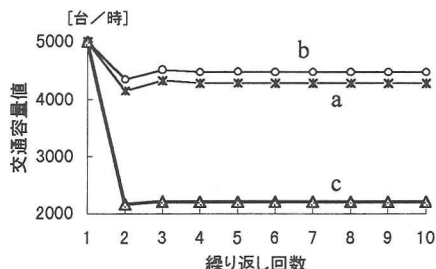


図9 交通容量値の変化 (複数観測)

6. 今後の課題

本研究では、シミュレーション実行過程に必要となる、パラメータ設定方法を取り上げ、その中でも交通容量値に焦点を当て、自動設定方法を提案した。今後は、

- 1) 経路選択モデルに含まれるパラメータをはじめ、他のパラメータも含めた全てのパラメータを同時に設定する方法
- 2) 互いに影響し合う複数のボトルネックを含む一般ネットワークを対象としたパラメータの設定方法

について、その自動設定方法を確立していきたい。

参考文献

- 1) 吉井、他：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Vol30.No.1、pp33-41、1995.1
- 2) 首都高速道路公団：第20回首都高速道路交通起終点調査報告書 (平日編)