

交通流シミュレータ実用化に向けたパラメータチューニング作業の自動化

東京大学大学院 学生員○古川誠

東京大学生産技術研究所 正会員 桑原雅夫

千葉工業大学 正会員 赤羽弘和

高知工科大学 正会員 吉井稔雄

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、交通環境を改善するための施策の評価ツールとして利用されている。さらに、動的な交通状況を再現できるモデルの登場により、従来の静的なモデルでは表現できなかった交通渋滞の考慮も可能となり、交通状況に応じたドライバーの経路・モード・出発時刻の変更などを目的とした経路誘導策・交通管制システムの評価も可能となってきている。

しかし、トラフィックシミュレーションの利用についてはまだまだ解決すべき課題が多い。モデルの構築、挙動の確認の作業はモデル作成者により行なわれるが、OD交通量や道路ネットワークに関するデータなどの入力値は利用者が獲得せねばならない。入力データを高精度で求めることは困難であり、交通状況の現況再現のためにこれら入力データの微調整が必要となる場合が多い。この作業は専門知識や経験のある者による多大な労力を要する。シミュレーションモデルの実用性を高めるにはこの入力データの微調整作業を自動に行なえるシステムの構築が必要である。

本研究ではシミュレーションモデルに用いる入力データのうち、道路ネットワークに関するパラメータであるリンクごとの容量値と合流容量比の微調整作業を自動に行う方法の提案を目的としたものである。最終的には現実の交通状況の再現を目標とするが、本稿ではあるパラメータセットを使ったシミュレーション結果を現実の交通状況と仮定し、それに使用したパラメータセットを推定することによりパラメータの自動チューニング方法の妥当性を検証する。

2. チューニング作業の概要

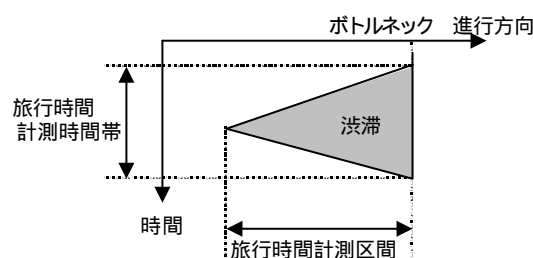
本研究では吉井・桑原らによる経路選択行動を内生化したモデル⁽¹⁾を使用した。本研究で推定するパラメータはリンク容量値および合流部の合流容量比であるが、

これらすべてを推定することは困難なことから渋滞発生の原因となる箇所、すなわち、ボトルネックとなるリンクおよび合流部に関するパラメータのみを推定の対象とする。

合流容量比とは

合流する2つのリンクがともに渋滞している場合に、合流先のリンクに流入可能なそれぞれの交通量の比

次に再現性検証の指標であるが、これには渋滞区間通過のための旅行時間を用いる。図1のように、渋滞が延伸する最上流リンクからボトルネックまでを「旅行時間計測区間」、渋滞が発生して解消するまでの時間を「旅行時間計測時間帯」とする。定められた時間帯にボトルネックを通過する車両がこの区間を通過するのに必要とする旅行時間を一定の時間間隔(例えば5分間隔)でサンプリングし、これらの総和を評価指標として使用する。



ボトルネック部の容量を対象とし、旅行時間を評価指標とすることは、使用するモデルにおいて経路選択率が旅行時間から求められること、そしてボトルネック容量が旅行時間に大きな影響を及ぼすことから妥当であると考えられる。

パラメータの推定の際には、まず、道路の車線数や線形などの幾何構造・交通状況から推定される交通容量・合流容量比を初期値として与える。これら初期値は±5%程度の精度で推定できるものとし、推定される容量値もこの初期値の±5%の幅の中で推定することとする。

シミュレーション実行後に旅行時間の観測値とシミュレーション値を比較し、新しいパラメータを推定する。新し

いパラメータ値を用いて再度シミュレーション を実行し、旅行時間のシミュレーション 値が観測値に収束するまで繰り返し計算を行う

3. 単路部での適用

まず最も単純なケースとして、図 2 のように単路部にボトルネックが存在するケースを取り上げる。



図 2. 単路上のボトルネック

まずボトルネック容量に適切な初期値を与えシミュレーションを実行する。この結果、ボトルネック通過のための旅行時間のシミュレーション 値が求められる。もし、シミュレーション値が観測値より大きければ容量を微小量増加させる。逆の場合は微小量減少させる。需要交通量が一定の場合には、旅行時間がボトルネック容量の減少関数であると考えられるからである。こうして求められた容量値を用いてシミュレーションを実行する。

n 回目のシミュレーション実行後には、 $n-1, n$ 回目に用いた容量値をもとを図 3 のように外挿または内挿することにより $n+1$ 回目のシミュレーションに用いる容量値を求める。求めた容量値が収束するもしくは旅行時間が観測値に等しくなった時点で容量値を確定させる。

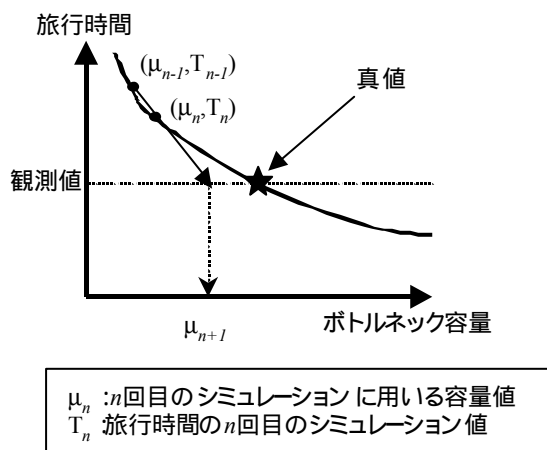


図 3. パラメータの推定方法

単路部における適用結果を以下に示す。ボトルネック容量を3600(veh/h)としたところ、3時間15分間に渡って渋滞が発生しボトルネック通過の総旅行時間は約400($\times 100$ 秒)であった。この値を観測値と見立ててパラメータの推定を行った。初期値を3300(veh/h)とし繰り返し計算を行ったところ、6回目のシミュレーションに用いるパラメータが3600(veh/h)と推定された。総旅行時間も観

測値と等しくなり正しく容量値の推定を行うことができた。計算回数も6回であり、容量値の推定に必要な計算回数もそれほど多くないことがわかる。

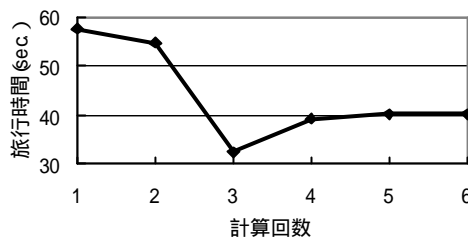


図 4. 旅行時間の推移

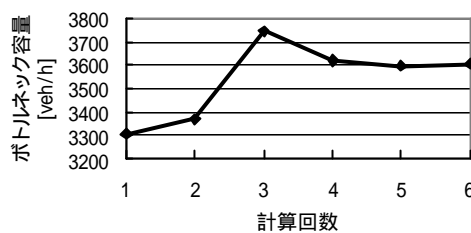


図 5. ボトルネック容量の推移

4. 合流部での適用

次に合流容量比の推定方法について述べる。図 6 のようにともに渋滞しているリンク G1、G2 からリンク A に流入可能な交通量の比率である。リンク G_i には、(リンク A の容量 \times リンク G_i の合流容量比) の容量が割り当てられる。まず、経路 1, 2 それぞれについて単路部における方法を適用し、それぞれの経路に割り当てられる容量を求める。その容量の比から合流容量比が推定され、また、和を求めることによりリンク A の容量が求められる。なお合流部への適用の場合の旅行時間計測時間帯はリンク G1, 2 がともに渋滞している時間帯とする。

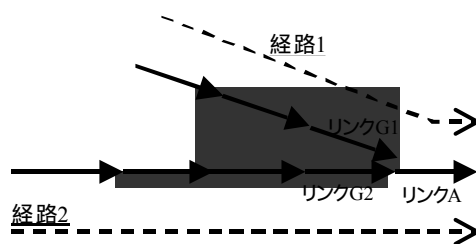


図 6. 合流部のボトルネック

リンク A の容量およびリンク G1, G2 の合流容量比の推定結果を示す。リンク A の容量を 4500veh/h、リンク G1, G2 の合流容量比を 0.5:0.5、つまり経路 1, 2 のそれぞれに 2250veh/h の容量を割り当てた場合の各経路の総旅行時間はそれぞれ、177、122($\times 100$ 秒)であった。

次にリンク A の容量を 4200veh/h、リンク G1, G2 の合流容量比を 0.53:0.47 として初期値を与え、繰り返し計算に

より容量と合流容量比を求めた。図7は経路1,2のそれぞれに割り当てられた容量の推移、図8はそれぞれの経路の総旅行時間の推移を示したものである。12回シミュレーション後にそれぞれの経路に割り当てられた容量が収束し、リンクAの容量が4502veh/hに、合流容量比は0.50:0.50となった。経路1,2の旅行時間はそれぞれ174、122(×100秒)でかなり小さな誤差で推定できている。

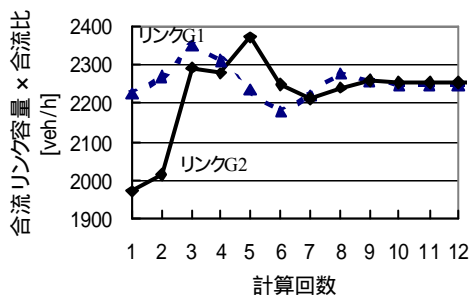


図7.割り当てられた容量の推移

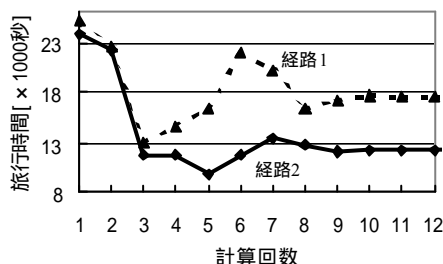


図8.総旅行時間の推移

5. ネットワークへの適用

複数のボトルネックが存在するネットワークに単路部の方法、合流部の方法を拡張して用いる。

ネットワーク上に複数のボトルネックが存在する場合、複数のボトルネックがお互いのボトルネック通過の旅行時間に影響を及ぼし合う。単数のボトルネックでの方法を適用するためには、まず、他のボトルネックから受ける影響を取り除き単独のボトルネックの容量推定問題に分解する必要がある。パラメータの値にかかわらずボトルネックへの需要交通量を観測交通量に等しい量に固定することができれば、それに応じて1つずつ個別にボトルネック容量を推定することができる。ボトルネックより上流側に存在するボトルネックからの流出量および分流部での分流率を固定するために次の2つの処理を行う。

まず、ボトルネックの容量を推定していく順序を定める。上流に存在するボトルネックから先に容量を決定していく。ただし、環状部では上下流の区別ができないので、この場合にはパラメータの定まっていないボトルネックを通

過した交通が到着しないボトルネック、すなわち、時間的のもっとも早くボトルネックとなるリンクから容量の推定を行なう。

分流率固定のためには、内生化されている経路選択機能を外生化する。これはボトルネックの容量の変化による上流分流部の分流率の変動を防ぐための処理である。外生的に与える分流率は、シミュレーションと同じ経路選択モデルに観測旅行時間を与えることにより求める。シミュレーションの再現性の指標として旅行時間を用いるので、シミュレーションでのボトルネック通過のための旅行時間は最終的に観測値のそれに等しくなるはずである。つまり、パラメータをすべて推定した後の各経路の選択率は、観測旅行時間から算出した経路選択率に等しくなると考えられる。外生的に与えた経路選択率を用いることにより、パラメータ推定後の分流率で交通を分流させることが可能となる。

首都高速道路ネットワークに本方法を適用した結果を以下に示す。リンク数は1114、ノード数は1084である。単路上のボトルネック11個、合流ボトルネック4個の計15のボトルネックに本方法を適用した。

ボトルネック容量および合流容量比の真値および推定結果が表1,2である。

表1.ボトルネック容量の推定値

ボトルネックNo.	推定値(veh/h)	真値(veh/h)	誤差(%)
1	4549	4500	1.1
2	4576	4600	-0.5
3	4367	4500	-3.0
4	2545	2500	1.8
5	5028	5000	0.6
6	5001	5000	0.0
7	5086	5000	1.7
8	3399	3400	0.0
9	6796	6800	-0.1
10	4500	4500	0.0
11	4804	4800	0.1
12	4479	4500	-0.5
13	4779	4600	3.9
14	6323	6300	0.4
15	5039	4900	2.8

表2.合流容量比の推定値

合流部No.	経路	推定値	真値	誤差
1	経路1	0.493	0.500	-0.007
	経路2	0.507	0.500	0.007
2	経路1	0.495	0.500	-0.005
	経路2	0.505	0.500	0.005
3	経路1	0.693	0.700	-0.007
	経路2	0.307	0.300	0.007
4	経路1	0.800	0.800	0.000
	経路2	0.200	0.200	0.000

合流容量比についてはかなりの精度で推定されている。ボトルネック容量は、ほとんどのボトルネックで1~2%程度

の誤差で推定できているが、一部 3~4% 程度の大きな誤差を持つものがある。容量の推定精度の低いボトルネックの少し下流に別のボトルネックが存在し、2 つのボトルネックから発生する渋滞列がつながる現象が起きている。この場合、図 9 のようにふたつの渋滞領域をまたがって通行する車両が存在する。この車両の旅行時間には、A の容量推定の段階では容量が定まっていなかった B による渋滞通過のための旅行時間も含まれ、この車両の旅行時間を含めて A の容量を推定したために大きな誤差が生じた。

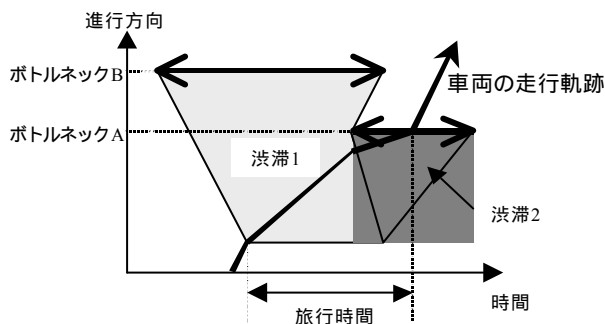


図 9.複数の渋滞領域を通過する車両

推定された交通容量・合流容量比を用いたシミュレーションのボトルネック通過の総旅行時間と真値の比較が図 10 である。ここで用いたシミュレーションは経路選択を固定したものではなく、内生化したモデルである。

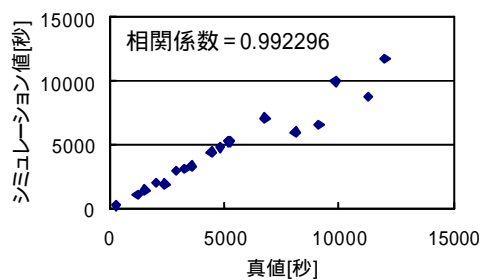


図 10.各ボトルネックの総旅行時間

相関係数は 0.99 以上であり、ほとんどのボトルネックで現況再現ができている。しかし、容量の推定誤差の大きいボトルネックにおいて、総旅行時間に 20% 以上の大きな誤差が生じた。複数のボトルネックを単独のボトルネックの問題に分解し切れなかった影響が大きく現れている。この問題の解決のために、旅行時間の計測時間帯の設定を改善し、図 9 の複数の渋滞領域をまたがって走行する車両の旅行時間をできる限り除外し、ほかのボトルネックから受ける影響を最小限にとどめることが必要である。また、初期値より精度が向上した推定値を初期値と置き

換えて、再度、推定作業を繰り返すことで推定精度の向上ができるものと考えられる。

これら 15 個のボトルネックの容量および合流容量比の推定に必要なシミュレーションの実行回数は 106 回、所要時間は標準的なパソコンで 3 時間あまりであった。

6. 今後の課題

これまでの実験結果によりボトルネックの交通容量および合流容量比の推定方法の妥当性を検証することができた。しかし、今回の検証ではシミュレーション結果を実測値と仮定したものであった。実際の交通状況の再現性向上のためのパラメータを推定する場合には、いくつかの問題が考えられる。シミュレーションモデルにおいて全ての交通現象をモデル化することは不可能なため、モデルには追い越しや大型車混入による影響などの現象が取り込まれていない。これらの現象により誤差が生じている可能性が強い。また、用いられる OD 交通量も実際の値とは異なり、相当量の誤差を持っていると思われる。本方法を実データに適用するには、これら実現象とシミュレーションモデルの相違、OD 交通量など入力データの誤差を考慮してパラメータを推定する必要がある。また、今回はシミュレーション値との比較だったためボトルネックの発生位置・時間帯を容易に知ることができたが、実データを用いたパラメータの推定には、調整を行なうべきパラメータの選定作業、すなわちボトルネックの抽出方法についても検討せねばならない。

参考文献

- (1) 吉井稔雄, 桑原雅夫; “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”, 土木計画学研究・講演集, No.21(2), 1998
- (2) 吉井稔雄, 桑原雅夫, 森田紳之; “都市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, 1995
- (3) 桑原雅夫; “やさしい交通シミュレーション 2. 広域ネットワークシミュレーション”, 交通工学, Vol.32, No.5, 1997