

交通流シミュレータのパラメータチューニングの自動化*

A Method of Auto-Tuning of Parameters for Traffic Simulation

古川誠**、山崎徹***、吉井稔雄****、赤羽弘和*****、桑原雅夫*****

by Makoto FURUKAWA, Toru Yamasaki, Toshio YOSHII, Hirokazu AKAHANE, and Masao KUWAHARA

1. はじめに

近年、VICS、ETCをはじめとするITS技術の開発研究が進んでいる。一方、交通環境改善策などの公共事業に対する費用対効果分析の必要性が議論されている。このような背景のもと、施策の効果が容易に行なえる交通流シミュレータの利用機会が多くなるものと考えられる。しかし、その実用化にあたってはまだまだ多くの課題を抱えている。シミュレーションの実行にはリンク交通容量などネットワークに関する多くのパラメータが必要であり、交通状況の再現のためにこれらパラメータの微調整が必要となる。現在、パラメータのチューニング作業は人手による作業により行なわれているが、パラメータの微妙な違いがシミュレーション結果に大きな差を生むこと、そしてその調整方法が確立されていないことから、熟練した技術者でさえも多大な労力を必要とする。

本研究は、シミュレーション利用者の負担を軽減できるよう、パラメータのチューニング作業手順およびその方法を提案することを目的としている。

2. 本方法の概要

シミュレーションの対象ネットワーク上には多数

- * キーワード：交通流シミュレータ、ネットワーク交通流、交通容量
- ** 学生員、東京大学大学院、〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1、tel: 03(3402)6231 (ext.2566) fax: 03(3401)6286、
- *** 非会員、千葉工業大学、〒275-0016 千葉県習志野市津田沼2-17-1、tel: 0474(78)0444 fax: 0474(78)0474、
- **** 正会員、工博、高知工科大学、〒782-8502 高知県香土郡土佐山田町、tel: 0887(57)2406 fax: 0887(57)2420
- ***** 正会員、工博、千葉工業大学、〒275-0016 千葉県習志野市津田沼2-17-1、tel: 0474(78)0444 fax: 0474(78)0474、
- ***** 正会員、Ph.D.、東京大学生産技術研究所、〒106-8558 東京都港区六本木7-22-1、tel: 03(5452)6001 (ext.58175) fax: 03(5452)6420

のリンクが存在し、これら全てのリンクに関するパラメータを調整することは困難である。シミュレーションの結果に大きな影響を与えるパラメータは主にボトルネックリンクの交通容量であると考えられるので、ボトルネック交通容量をチューニングの対象とする。また、都市高速道路では合流部がボトルネックとなることが多いことから、ボトルネックとなる合流部の合流容量比*もチューニングの対象とする。

次に再現性検証の指標であるが、本方法ではボトルネック通過のための旅行時間を用いる。図 2.1 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」、ボトルネックに渋滞が発生して解消するまでの時間帯を「旅行時間計測時間帯」とし、旅行時間計測時間帯にボトルネックを通過する車両が旅行時間計測区間を通過するのに必要とする旅行時間を一定時間間隔（例えば 5 分）ごとにサンプリングしこれらの総和を評価指標とする。この値の観測値とシミュレーション値を比較することによりパラメータを推定する。

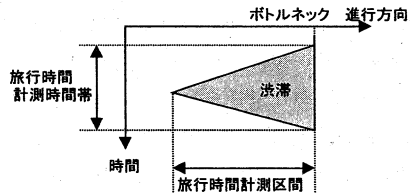


図 2.1. 旅行時間計測区間・時間帯

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や交通状況から推定されるパラメータを初期値として与える。

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。新しいパラメータを用いて再度シミュレ-

* 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
合流後のリンクに流入可能なそれぞれの交通量の比

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なう。

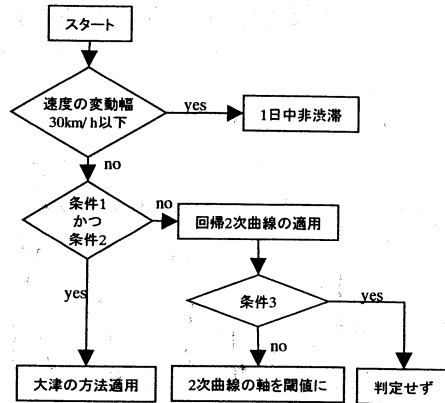
3. ボトルネックの特定方法

ボトルネックの位置、旅行時間計測時間帯および旅行時間計測区間を車両感知器のデータより特定する方法について述べる。本研究では、各リンクの各時間帯ごとに渋滞・非渋滞の判定を行ない、上流から下流に向かって渋滞から非渋滞に変わる状態が30分以上継続するリンクをボトルネックとする。現在、渋滞リンクの判定は、日本道路公団、首都高速道路公団、阪神高速道路公団でそれぞれ40km/h、20km/h、30km/hという閾値速度を設定して行なわれている。しかし、渋滞判定速度となる臨界速度は地点ごとに異なるはずであり、リンクごとに渋滞判定閾値速度を設定する必要がある。渋滞閾値の設定方法として、大津の閾値設定法⁽¹⁾を利用した方法⁽²⁾があるが、大津の方法をネットワーク上の全てのリンクに適用することはできない。なぜなら、ネットワークには1日中渋滞が発生しない地点が多数存在し、大津の方法ではこのような地点についても渋滞閾値が設定されてしまい、その速度以下となる時間帯は渋滞していると判定されてしまうからである。本章では非渋滞リンクの存在を考慮した渋滞閾値設定法を提案する。

図 3.1 がそのアルゴリズムである。速度変動が30km/h以下のリンクは1日中非渋滞のリンクとする。渋滞が発生するリンクでは自由流速度よりかなり小さな速度領域が存在するからである。次に大津の方法の適用条件を判定する(図 3.1 の条件 1, 2)。渋滞が発生する時間帯がわずかであれば速度の度数分布は双峰形とはならない。このようなリンクについて大津の方法を適用すれば、かなり速い速度が閾値となってしまう。大津の方法の適用が適当でないと判定された場合には、断面交通量も利用することにより速度-交通量の回帰2次曲線を推定し、その曲線の軸を閾値として利用することとする。

本方法を平成10年5月21日0:00~24:00、首都高速道路全線の車両感知器データに適用した。地点数は1232である。

本方法の妥当性を検証するために、全地点の q-v



条件1:10km/h幅の速度度数の極小値がその速度域以下・以上の範囲のそれぞれ極大度数の50%以下
 条件2:極小値をとる速度以上・以下のそれぞれ範囲での極大度数と極小度数の差が10以上である
 条件3:2次曲線の軸が80km/h以上、または、曲線が下に凸

図 3.1. 渋滞判定閾値速度設定方法

散布図を目視することにより、図 3.1 のどの方法で渋滞判定閾値速度が設定されるべきであるか分類を行なった。本方法による閾値設定の分類と目視による分類の一致度を表したのが表 3.1 である。

表 3.1. 閾値設定方法の分類

	大津の方法	2次曲線	非渋滞	判定せず	計
一致	346	287	522	21	1176
不一致	9	8	29	10	56
計	355	295	551	31	1232

ほとんどの地点において、閾値の設定の分類が正しく行なわれていることがわかる。本方法で設定された渋滞判定閾値速度を用いて各リンクの渋滞判定を行ない、ボトルネックの特定を行なった。その結果、葛西 JCT や箱崎 JCT など一般にボトルネックであるといわれる箇所を含め 30 箇所程度のボトルネックを抽出できた。

4. パラメータの推定方法と適用結果

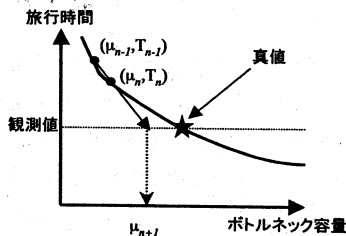
ここで用いるシミュレーションは、吉井・桑原らによるモデル⁽³⁾を首都高速道路全線に適用し、平成7年9月21日のOD交通量⁽⁴⁾を入力値としたものである。シミュレーション値と比較する観測値およびボトルネックの特定には同日の車両感知器によるデータを用いた。

(1) 単路部の場合

ここで、評価指標であるボトルネック通過のための旅行時間の総和はボトルネック交通容量の減少関数であると仮定する。この性質を利用してボトルネック容量の推定を行なう。

まず、ボトルネック容量に道路構造から得られる初期値を与え、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総旅行時間のシミュレーション値が得られる。もし総旅行時間のシミュレーション値が観測値より小さければ、ボトルネック容量を微量減少させる。逆の場合には増加させる。こうして得られた容量値を用いて、再度シミュレーションを実行する。

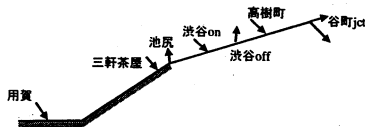
n 回目のシミュレーション実行後には、 $n-1, n$ 回目に用いた容量値とそのときの総旅行時間を利用して、図 4.1 のように外挿もしくは内挿することにより $n+1$ 回目のシミュレーションに用いる容量値を推定する。評価指標が観測値に十分に近い値となった時点で容量値を確定させる。



μ_n : n 回目のシミュレーションに用いる容量値
 T_n : 旅行時間の n 回目のシミュレーション値

図 4.1. パラメータの推定方法

3.の方法により特定されたボトルネック (図 4.2) に本方法を適用した結果が図 4.3, 4.4 である。



ボトルネック: 池尻付近
 渋滞時間帯: A.M. 8:15 ~ A.M. 8:55

図 4.2 単路上のボトルネック

このボトルネック通過の総旅行時間は $800 [\times 10 \text{sec.}]$ であった。5 回のシミュレーションを実行し

た結果、総旅行時間は収束しボトルネック交通容量が求められた。なお、収束条件は総旅行時間の観測値との差が 5% 以内とした。

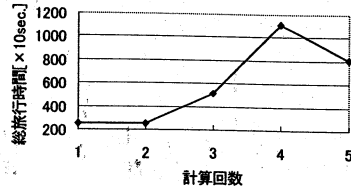


図 4.3 総旅行時間の推移

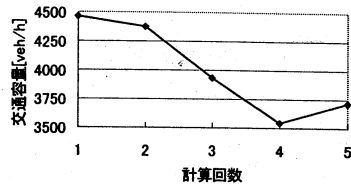


図 4.4 交通容量の推移

(2) 合流部の場合

本項では、合流部がボトルネックと場合の合流容量比の推定方法について述べる。

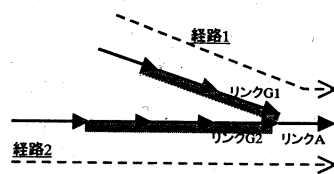


図 4.5. 合流部のボトルネック

図 4.5 のようにリンク G_1 , G_2 がともに渋滞している場合、経路 1, 2 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 のそれぞれに単路部の方法を適用し、それぞれの経路に割り当てられる容量を推定する。求められた容量の比からリンク G_i の合流容量比が、和からリンク A の交通容量が求められる。なお、合流部の容量推定に用いる旅行時間計測時間帯はリンク G_1 , G_2 がともに渋滞している時間帯とする。

本方法を 6 号三郷線と中央環状線の合流部である小菅 JCT に適用した。川口東 JCT \rightarrow 小菅 JCT を経路 1、三郷 JCT \rightarrow 小菅 JCT を経路 2 とする。両経路がともに渋滞していた時間帯は 6:00~10:15 である。初期値としてボトルネック容量に $6900 [\text{veh/h}]$ 、合

流容量比に 0.52 : 0.48 を与えた。両経路の総旅行時間の観測値はともに 100[×1000sec.]であった。

本方法の適用結果が図 4.6、4.7 である。各経路の総旅行時間は 9 回目のシミュレーション実行後に収束し、ボトルネック容量が 5059[veh/h]、合流容量比が 0.54 : 0.46 と推定された。

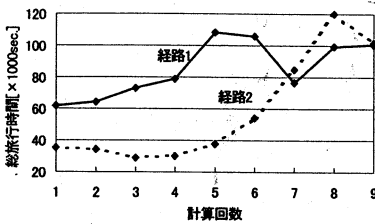


図 4.6. 総旅行時間の推移

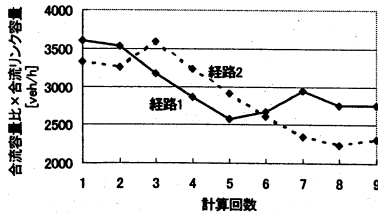


図 4.7. 各経路に割り当てられた容量の推移

5. まとめ

本研究では、交通流シミュレータに用いられるパラメータの自動チューニング方法の提案し、ボトルネックが単独であるケースへの適用を行なった。また、その前段階として、チューニングすべきパラメータの選定として、車両感知器のデータを用いたボトルネック特定方法の提案および適用を行なった。ボトルネック特定方法では、経験的に知られているボトルネックのほとんどを特定することができた。しかし、交通集中による渋滞以外にも交通事故が原因となっているボトルネックを抽出している可能性が強く、これら交通事故によるボトルネックをチューニングの対象から除くことが今後の課題といえる。

ボトルネック容量および合流容量比の推定では、ボトルネックが単独のケースであれば、現況に近い再現結果が得られるパラメータの推定が可能であることがわかった。今後は、互いに影響を及ぼし合う複数のボトルネックのパラメータのチューニング方法を考案する必要がある。また、本方法で得られた

ボトルネック容量および合流容量比は、道路幾何構造から推定される値である初期値とは大きく異なる値が得られた。この原因は、今回対象としたパラメータ以外のパラメータ、OD 交通量に含まれる誤差、および、シミュレーションモデル自身による問題であると考えられる。今後は、OD 交通量やモデル自身による誤差を考慮し、かつ、他のパラメータの推定も含めたパラメータの自動チューニング方法についても研究が必要である。

補足：大津の閾値設定法

クラス間分散 σ_B^2 が次式で与えられるとき、 σ_B^2 が最大となる $\kappa (1 < \kappa < N)$ を閾値とする。

$$\sigma_B^2 = \frac{[\mu \cdot \omega(\kappa) - \mu(\kappa)]^2}{\omega(\kappa)[1 - \omega(\kappa)]}$$

$\omega(\kappa)$: ヒストグラムの 0 次累積モーメント

$\mu(\kappa)$: ヒストグラムの 1 次累積モーメント

μ : 平均値

N : ヒストグラムのレベル数

[参考文献]

- (1)大津展之; “判別および最小 2 乗基準に基づく自動しきい値選定法”, 電子通信学会論文誌, Vol. J63-D No.4, 1980
- (2)首都高速道路公団・(社)交通工学研究会; “平成 2 年度 将来管制システムに関する研究(その 2)”, 平成 3 年 2 月
- (3)吉井稔雄・桑原雅夫・森田緯之; “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
- (4)首都高速道路公団; “第 22 回首都高速道路起終点調査 報告書”