

シミュレーションモデルのリンク容量値の自動調整

Automatic Tuning of Link Capacity Parameters in a Traffic Simulation Model

桑原雅夫*

Masao KUWABARA

1. はじめに

本研究は、動的シミュレーションモデルに内在するリンク交通容量パラメータ値を、観測された交通状況の再現性が最大になるように、自動調整するアルゴリズムを提案することを目的とする。

本研究では交通工学的な知見を援用してパラメータ値の修正方向と修正幅を決めることを試みるものである。

2. 容量値調整方法の概要

2.1. 容量値の設定方法

シミュレーションモデルによってさまざまなリンク容量値の設定方法が考えられるが、本研究では次のように、あるリンクから流出容量値を直進、左折、右折の方向別に設定できるものとする：

μ_k^i = リンク i の流出方向 k の容量値, $k = 1$ (直進),
2 (左折), 3 (右折)

2.2. アルゴリズム概要

リンク容量値の調整は、観測された方向別リンク交通量とリンク旅行時間に、シミュレーションのそれら両者がともに合致するように調整する。

(1) 旅行時間再現のための調整

たとえば、リンク i の旅行時間のシミュレーション値が観測値と一致していない場合であっても、そのリンクの容量値を修正すべきかであるかどうかは、すぐには定かにはならない。その理由は、そのリンクの交通状態が、そのリンクの容量値によって決められているとは限らないからである。仮に、シミュレーション旅行時間が観測値よりも大きい場合を考えると、次の3とおりの理由が考えられる：

(a) 当該リンク i の容量が小さすぎたために、旅行時間が

大きく出ている。

- (b) 当該リンク i よりも下流のリンク容量値が小さすぎたために、渋滞が下流から延伸して当該リンクの旅行時間も大きく出ている。
- (c) 当該リンク i よりも上流のリンク容量値が大きすぎたために、当該リンクに過大な交通量が流入して、当該リンクの旅行時間が大きく出ている。

この場合、当該リンク容量を修正すべき場合は、(a) の場合だけであり、(b)、(c) の場合には代わりに下流あるいは上流のリンク容量値を修正すべきである。(a) の場合は、当然ながら当該リンク i が、シミュレーション上で渋滞の先頭リンク (ボトルネックリンク) になっている場合である。このように、シミュレーション上でボトルネックリンク (渋滞先頭のリンク) でないリンクの容量は、その時の交通状態に対してクリティカルに効いていないので、容量値を変化させるべきでない。

したがって、着目するリンクが観測上とシミュレーション上においてボトルネックリンクであるかどうかの組み合わせで、容量値の調整を次のように整理することができる：

	シミュレーション上のボトルネックリンクである	シミュレーション上のボトルネックリンクではない
観測上のボトルネックリンクである	(1) 当該リンクの上流の混雑程度に合わせて、リンク容量を調整し上流の渋滞程度を観測値に近づくように調整する	(2) 当該リンクのリンク容量を減少させてボトルネックになるように調整する
観測上のボトルネックリンクではない	(3) 当該リンク容量を増加させて、シミュレーション上でボトルネックとならない方向に調整する	(4) 容量値の調整不要

(1) はシミュレーション上のボトルネックが観測上のボトルネックに一致している場合で、当該ボトルネックに起因する上流リンクの旅行時間が観測状態に近づくように容量値を調整する。(2) の場合は、観測上のボトルネックが

*東京大学国際産学共同研究センター

研 究 速 報

シミュレーション上ではボトルネックになっていないケースなので、明らかに当該リンクの容量を下げてボトルネックとなるように調整すべきである。(当該リンクの上流リンクはボトルネックリンクではないので、上流リンクの容量を増加させても当該リンクに流入する交通量は増えないので、当該リンクはボトルネックにはなりえない。) (3) の場合は、シミュレーション上でボトルネックになっているリンクをボトルネックにならないように調整する。このためには、2種類の方法が考えられる：(A) 当該リンクの容量を増加させる、(B) 当該リンクの上流リンクの容量を下げて当該リンクに流入する交通量を減少させる。本研究では、この2種類の対策のうち、(A) 当該リンクの容量を増加させる対策を採ることとした。その理由は、このように当該リンクの容量を増加させると、現在顕在化している当該ボトルネックは消滅する方向に動き、上記の場合わけの(3)の状態は(2)の状態に遷移すると期待できる((4)にも遷移する可能性はあるが、この場合には問題はない)。その結果、たとえ上流リンクの容量を減少させる対策(B)を採るべきであったとしても、(2)の状態に遷移してから、ボトルネックとなるべき上流リンクの容量値を下げるのが可能だからである。

(2) リンク交通量の再現性のための調整

上記(1)で述べたように、ボトルネックリンク以外のリンク容量値は、旅行時間にも交通量にも影響を与える度合いが小さいので、リンク交通量の再現性確保についてもボトルネックリンクに着目する。

あるリンク*i*には、観測交通量、シミュレーション交通量という2種類の交通量が存在するが、これらを次のように書く：

f_{ik}^{sim} = リンク*i*方向*k*のシミュレーション上の交通量

f_{ik}^{obs} = リンク*i*方向*k*の観測上の交通量

これらと現在設定されている容量値 μ_i^k との大小関係によって、次のようにリンク容量値を調整する：

(I) $\mu_i^k \geq f_{ik}^{sim} > f_{ik}^{obs}$	リンク容量を減少させる
(II) $\mu_i^k > f_{ik}^{obs} > f_{ik}^{sim}$	リンク容量を増加させる
(III) $f_{ik}^{obs} > \mu_i^k > f_{ik}^{sim}$	リンク容量を増加させる

シミュレーション上の交通量 f_{ik}^{sim} は、容量値を絶対を超えることがないので、常に $\mu_i^k \geq f_{ik}^{sim}$ は満たされる。したがって、場合わけとしては上記の3種類しかありえない。(III)の場合は容量値が観測交通量よりも小さいのであるから、明らかに容量値を増加させてシミュレーション上の交通量を観測交通量に近づけるしか対策はありえない。一方、(I)と(II)の場合は、観測交通量もシミュレーション上の交通量もともに容量値よりも小さいが、観測交通

量とシミュレーション上の交通量の大小関係が逆転しているケースである。たとえば(II)の場合であれば、容量値を増加させることによってシミュレーション上の交通量が増加し、結果的に(I)の状態に遷移すると期待できる。(I)の状態であれば、逆に容量値を減少させて(II)の状態に遷移させることが期待できる。すなわち、(I)と(II)の場合については、(I)であれば(II)の状態に、(II)であれば(I)の状態に遷移させて、 f_{ik}^{sim} と f_{ik}^{obs} を次第に収束させることを狙っている。

(3) リンク容量値の調整範囲と一回の修正における調整幅

道路幾何構造により、実現可能なリンク容量値の上限と下限は、おおよそ決めることができるので、各方向別のリンク容量値についても上限と下限を設定し、その範囲で調整を行う。

また、*n* 回目の繰り返し計算におけるパラメータ値の修正幅 $\Delta\mu_i^k(n)$ は、繰り返し計算が進むにつれて小さくなるように、次のように設定した。

$$\Delta\mu_i^k(n) = \Delta\mu^* / n \dots\dots\dots (1)$$

$\Delta\mu^*$ = 修正幅の初期値

2.3. ボトルネックリンクの判定方法

前節の容量値の調整方法では、どのリンクがボトルネックであるのかをまず特定しなければならない。まず、リンク旅行時間に基づいて次のように各リンクの渋滞・非渋滞を判定する：

$$T_{ik}^{obs}(t) \leq TF_i^k \quad \text{for all } k \text{ and } t, \text{ リンク } i \text{ は非渋滞 (観測)} \dots\dots\dots (2)$$

$$T_{ik}^{sim}(t) \leq TF_i^k \quad \text{for all } k \text{ and } t, \text{ リンク } i \text{ は非渋滞 (シミュレーション)} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、

$T_{ik}^{obs}(t)$ = リンク*i*の方向*k*の時間帯*t*における観測上の平均旅行時間

$T_{ik}^{sim}(t)$ = リンク*i*の方向*k*の時間帯*t*におけるシミュレーション上の平均旅行時間

TF_i^k = リンク*i*の方向*k*の自由旅行時間

次に、ボトルネック判定を

「リンク*i*は渋滞 かつ その下流に接続するすべてのリンクが非渋滞」

の場合に、リンク*i*をボトルネックリンクと定義する。このボトルネック判定を、観測旅行時間およびシミュレーシ

オン旅行時間に基づいて行い、それぞれにおけるボトルネックリンクを特定する。

2.4. リンク交通量の評価方法

リンク交通量は時間帯ごとに変化するため、上記で定義した f_{ik}^{sim} , f_{ik}^{obs} を次のように、対象時間帯の中の最大交通量として評価する：

$$f_{ik}^{sim} = \text{Max}_t [f_{ik}^{sim}(t)] \dots\dots\dots (4)$$

$$f_{ik}^{obs} = \text{Max}_t [f_{ik}^{obs}(t)] \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 $f_{ik}^{obs}(t)$ = リンク i の方向 k の時間帯 t における観測上の交通量

$f_{ik}^{sim}(t)$ = リンク i の方向 k の時間帯 t におけるシミュレーション上の交通量

さらに、次のように定義される1車線あたりの交通量が最も交通容量に近い方向を、クリティカルな方向と定義する：

クリティカル方向 $k = \text{Min}_k [(\mu_i^k - f_{ik}^{sim}) / L_k]$ を与える方向
ただし、 L_k = 方向 k のレーン数

3. 仮想ネットワークへの適用

3.1. ネットワークとOD需要

ネットワークは以下のような格子状のグリッドネットワークである。すべてのリンクは同じ幾何構造で、片側3車線でリンク長は500mである。ただし、リンクの終端の100m区間には専用右折レーンと専用左折レーンが追加されているので、その区間の合計車線数は、片側5車線である。

交通需要としては、起点ノード1、終点ノード11という1ODを扱う。OD交通需要の時間変化は、次のように1時間ごとに1000 : 2400 : 1000 : 1000 : 1000 [台/時]と5時間にわたって変化させている。また、時間帯 t は、1時間帯に設定した。

3.2. 経路選択モデル

経路選択モデルは、Dial配分用い、本研究で用いたSOUNDモデルでは、経路選択を5分に1回行わせている。

3.3. 容量値の調整実験

観測旅行時間の作成にあたっては、すべてのリンクの流出容量値を次のように設定した：

- 左折容量値 = 600 [台/時/車線]
- 直進容量値 = 800 [台/時/車線]
- 右折容量値 = 400 [台/時/車線]

また、パラメータ調整の容量の変動幅の制約として、上記容量値の75%から125%の範囲を許容範囲とし、初期

値は観測上のボトルネックリンクについては許容幅の下限である75%の容量値とし、その他のリンクについては上限である125%の容量値とした。

以上のような設定で、SOUNDモデルを実行して観測リンク旅行時間を作成すると、図1のようになる。

本適用実験においては、容量値の調整は、直進・左折・右折の方向に独立には行わずに、方向別の容量値の比率は初期値の比率に固定している。本実験では、各リンクごとに2.4節で定義したクリティカルな方向の容量値を最初に更新させ、次にその他の方向の容量値を連動させて更新している。

アルゴリズムの適用結果が図2, 3に示されている。これらの図の縦軸評価値は次のように定義される：

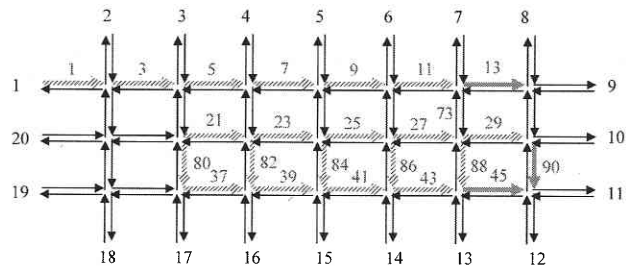


図1 仮想ネットワーク (網掛け矢印=渋滞リンク, 太矢印=ボトルネックリンク)

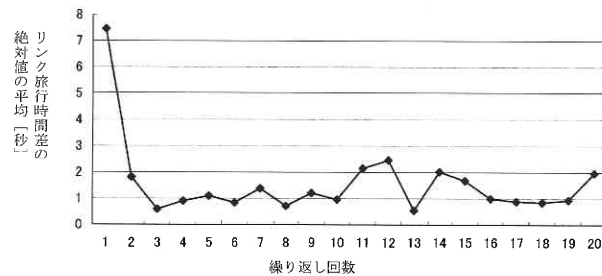


図2 繰り返し回数とリンク旅行時間差の絶対値の平均 [秒/時]

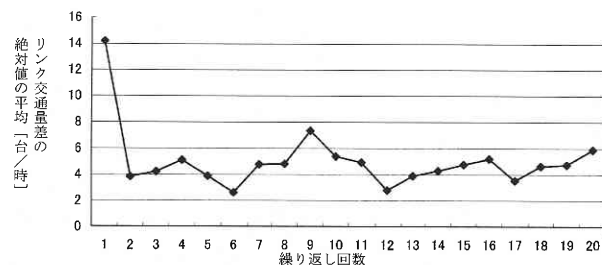


図3 繰り返し回数とリンク交通量差の絶対値の平均 [秒/時]

研 究 速 報

リンク旅行時間差の絶対値の平均 [秒]

$$= \sum_{i,k} \left| \sum_t |T_{ik}^{sim}(t) - T_{ik}^{obs}(t)| \right| / N \dots\dots\dots (6)$$

リンク交通量差の絶対値の平均 [台/時]

$$= \sum_{i,k} \left| \sum_t |f_{ik}^{sim}(t) - f_{ik}^{obs}(t)| \right| / N \dots\dots\dots (7)$$

これらのリンク i , ターン方向 k , 時間帯 t の総和は, リンク旅行時間 $|T_{ik}^{sim}(t) - T_{ik}^{obs}(t)|$ あるいはリンク交通量 $|f_{ik}^{sim}(t) - f_{ik}^{obs}(t)|$ に差がある場合だけについて加算したものであり, N はそれらの場合の総数である.

両方の結果ともに, 旅行時間, 交通量の観測値とシミュレーション値の差は, 数回の繰り返し計算で大幅に改善されているが, その後の改善はあまりない.

図4は, 渋滞リンク(方向別)ごとの, 調整後の容量値を表したものである. リンク容量値については, リンク終端における方向別の容量値に車線数を乗じた値を示している. したがって, 今回の実験の正しい容量値は $600 \times 1 + 800 \times 3 + 400 \times 1 = 3400$ [台/時] となる. 調整後は, ほぼこの値に収束している. 図5は, 渋滞リンク(方向

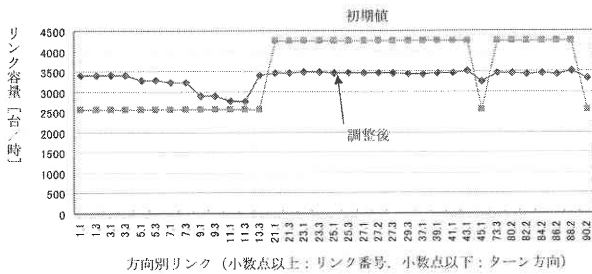


図4 リンク別・流出方向別の容量値

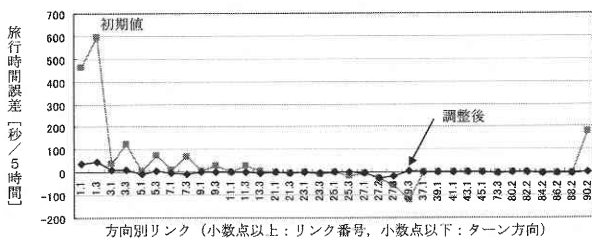


図5 リンク別・流出方向別の旅行時間誤差

別) ごとの, 旅行時間誤差を表したものである. 最大でも5時間帯で70秒程度とますますの結果である. 図6は, 同じく渋滞リンク(方向別)ごとの, 交通量誤差をあらわしているが, 初期容量値を用いた結果と比べるとかなりの改善が見られる.

図7, 8は, リンク1の2.4節で定義したクリティカルな方向である直進交通量について, リンク旅行時間とリンク交通量の時間変化を見たものである. 実線が観測値で, 破線が旅行時間と交通量に基づいて調整した容量を用いたシミュレーション結果である. 初期値に比べると, シミュレーション結果が非常によく観測値を再現できていることがわかる.

(2002年6月26日受理)

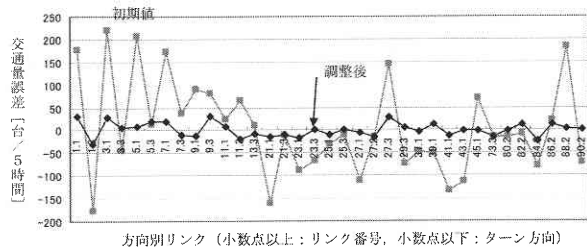


図6 リンク別・流出方向別の交通量誤差

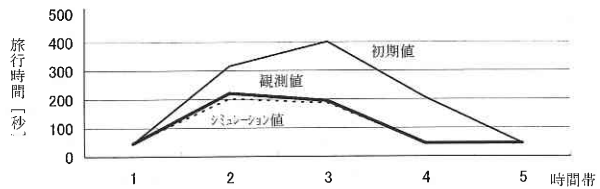


図7 リンクI直進方向の旅行時間の観測値(太実線)とシミュレーション値(破線)

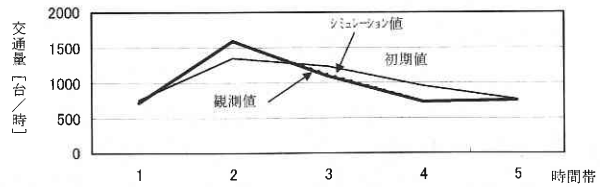


図8 リンクI直進方向の交通量の観測値(太実線)とシミュレーション値(破線)