

ネットワーク交通シミュレーションのための時間帯別 OD 交通量と

確率経路選択モデルのロジット感度パラメータ一括推定プログラムの開発

* (株)アイ・トランスポート・ラボ 正会員 ○小林正人
(株)アイ・トランスポート・ラボ 正会員 堀口良太
(株)アイ・トランスポート・ラボ 正会員 花房比佐友
(株)アイ・トランスポート・ラボ 正会員 小出勝亮

1. はじめに

本研究は、調整が困難なネットワーク交通シミュレーションのパラメータである時間帯別 OD 交通量と確率経路選択モデルのロジット感度パラメータを、観測交通量を用いて一括推定する手法を開発し、柏市のネットワークにて適用した成果を示したものである。

近年、交通を取り巻くシステムはより複雑になり、動的な交通運用の評価が求められるようになるなど、従来の静的な交通量配分手法での評価が困難となってきた。そのため、各種施策の動的な評価を行うために、様々な交通シミュレーションが開発されてきた。特に、地域での交通検討や環境負荷の評価への活用など、ネットワーク規模での交通シミュレーションが望まれている。

しかし、ネットワーク規模の交通シミュレーションでは、再現される交通状況は極めて複雑であり、シミュレーションのパラメータ調整は非常に困難である。特に、時間帯別 OD 交通量と経路選択パラメータについては、調整のための知見を調査などから得ることは難しく、実施者の経験に基づいて調整を行っているのが現状である。そのため、調整されたパラメータの、定量的評価に基づいた合理性が担保されるような手法の開発が課題となっている。

このような背景から、観測交通量やプローブデータなどの実データから、OD 交通量を推定する手法が数多く開発されており、実際に OD 交通量の推定を行った研究¹⁾²⁾³⁾も存在する。本研究では、観測リンク交通量とシミュレータを用いて計算したリンク交通量との残差平方和を最小化するよう、先験時間帯別 OD 交通量を調整する手法、及びプログラムを作成した。

本手法の特徴は、時間帯別 OD 交通量と確率経路選択モデルのロジット感度パラメータを同時に推定できるよう、また最適化の過程で時間がかかるシミュレーション計算の繰り返しをできるだけ少なくできるような定式化を行ったことである。

Keywords: 時間帯別 OD 交通量推定、交通シミュレーション

* 連絡先: kobayashi@i-transportlab.jp
(Phone) 03-5283-8527

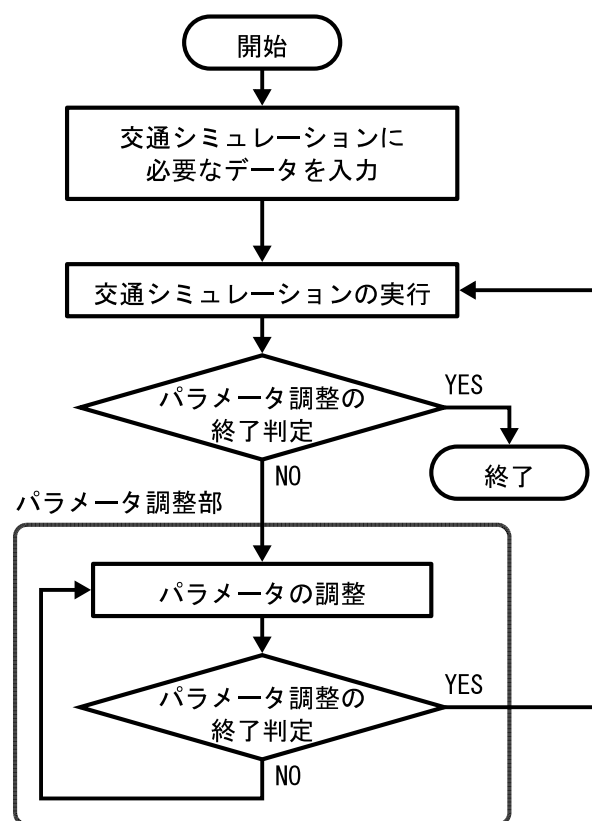


図1 パラメータの推定手法のフロー

以下に、本手法の処理手順と定式化を述べた後、千葉県柏市域におけるネットワークを対象に、本手法を適用したケーススタディ結果について述べる。

2. 時間帯別 OD 交通量とロジット感度パラメータの推定手法

2.1 シミュレーションパラメータ推定の流れ

図1に時間帯別 OD 交通量及びロジット感度パラメータを推定する手法のフローを示した。まず、ネットワークデータや信号現示、時間帯別 OD 交通量と確率経路選択モデルのロジット感度パラメータの初期値などを用意する。これらのデータを利用して、確率経路選択モデルを内包する任意の交通シミュレーションを実行し、その結果である時間帯別リンク交通量 OD 構成から、あるリンクをある時間帯に通過する経路群のログサムコストとそれ以外

の経路群のログサムコストの差を後述する式(2)で計算する。パラメータ調整部では、計算されたログサムコスト差に基づいて、定式化された式からリンク交通量を計算し、観測交通量との誤差の二乗和の関数を最小化する最適化問題を反復法によって解くことで、時間帯別 OD 交通量及びロジット感度パラメータを調整する。ある程度パラメータ調整が進んだ段階で、再度シミュレーションを実行し、ログサムコスト差を更新する。この処理を繰り返し、シミュレーション結果が終了条件を満たした段階でパラメータ調整を終了する。

ここで、シミュレーションパラメータが調整されれば、ログサムコスト差も変わるので、その都度シミュレーション計算を繰り返す必要があり、一般にこの種の最適化問題では、多くの繰り返し回数が必要になるが、シミュレーション計算には時間がかかるため、このような処理手順は実用性の観点からは望ましくない。そこで、本研究では、フロー依存リンクコストを持つネットワーク均衡配分計算において、仮の与件としてリンクコストを固定して、数値探索に必要な降下ベクトルを求めることへのアナロジーから、一旦シミュレーションした結果を仮の与件として、以下の定式化によって数値計算で最適化し、その最適解をシミュレーションに入力して、次の最適化ステップへの与件とする構成とした。これにより、シミュレーション計算を繰り返す回数を大幅に減らすことができる。

2.2 シミュレーションの実行

交通シミュレーションに必要なデータとして、ネットワークデータや信号現示、時間帯別 OD 交通量、確率経路選択パラメータであるロジット感度パラメータを入力し、交通シミュレーションを実行することで、リンク交通量が計算される。また、時間帯別リンク交通量 OD 内訳も併せて出力する。この情報はパラメータ調整部において使われる。

2.3 評価関数

シミュレーションによって計算されたリンク交通量を、観測交通量と比較することで評価を行う。本手法では、シミュレーション結果のリンク交通量と観測交通量との差分平方和で構築された評価関数を構築し、式(1)に示した。

$$E = \sum_{knu} (\hat{q}_{knu} - q_{knu})^2 \quad (1)$$

ここで、

\hat{q}_{knu} : リンク k を通過する集計時間帯 τ における車種 u の観測交通量

q_{knu} : リンク k を通過する集計時間帯 τ における車種 u のシミュレーション結果の交通量

2.4 パラメータ調整の終了判定

シミュレーション結果のリンク交通量を評価関数に代

入することで、シミュレーションパラメータの定量的な評価値を得ることができる。この値に基づいて、パラメータが十分に調整されたと判定された段階で、パラメータ調整を終了する。一方、パラメータ調整が不十分であった場合、パラメータ調整部の実行に移る。

2.5 シミュレーションパラメータの調整

シミュレーションパラメータの調整は、図1の破線内のフローで示したように、式(1)の評価関数を最小化するように調整する。しかし、シミュレーション結果のリンク交通量は、シミュレーションを実行しなければ計算することができないが、交通量を式(2)のように示すことで、計算によって求められるようにした。

$$q_{knu} = \sum_{rsh} p_{knu}^{rsh} Q_{rshu} = \sum_{rsh} \frac{Q_{rshu}}{1 + \exp(-\theta_u \Delta c_{knu}^{rsh})} \quad (2)$$

ここで、

p_{knu}^{rsh} : 時間帯 h に出発する OD ペア rs の集計時間帯 τ に通過する車種 u のリンク k を通過する確率

Q_{rshu} : 時間帯 h に出発する OD ペア rs の交通量

θ_u : 車種 u のロジット感度パラメータ

Δc_{knu}^{rsh} : 時間帯 h に出発する車種 u の OD ペア rs 交通量について、リンク k を集計時間帯 τ に通過する経路のログサムコストとそれ以外の経路のログサムコストの差

式(2)において、ログサムコスト差 Δc_{knu}^{rsh} は本来容易に求められるものではないが、ここでは、仮の与件下でリンクコストが変化しないと仮定することで、以下のように求めることができる。

まず、リンクの選択確率を、シミュレーション結果の交通量と、二項ロジットモデルの2種類の方法によって表した式(3)を示す。

$$p_{knu}^{rsh} = \frac{q_{knu}^{rsh}}{Q_{rshu}} = \frac{1}{1 + \exp(-\theta_u \Delta c_{knu}^{rsh})} \quad (3)$$

ここで、

q_{knu}^{rsh} : 時間帯 h に出発する OD ペア rs のリンク k を集計時間帯 τ に通過する車種 u のシミュレーション結果の交通量

式(3)をログサムコスト差 Δc_{knu}^{rsh} について解くことで式(4)を得た。

$$\Delta c_{knu}^{rsh} = -\frac{1}{\theta_u} \ln \left(\frac{Q_{rshu}}{q_{knu}^{rsh}} - 1 \right) \quad (4)$$

以上で、ログサムコスト差をシミュレーション結果のリンク交通量から計算することが可能となった。

さらに、式(2)を式(1)に代入するとともに、時間帯別 OD 交通量に制約条件を付加した式(5)を得た。即ち、シミュレーション結果から Δc_{knu}^{rsh} が定数として与えられるため、評価関数 E を Q_{rshu} と θ_u で偏微分可能な形式とし

たものである。

$$E = \sum_{k\tau u} \left(\hat{q}_{k\tau u} - \sum_{rsh} \frac{Q_{rshu}}{1 + \exp(-\theta_u \Delta c_{k\tau u}^{rsh})} \right)^2 \quad (5)$$

$$\text{Subject to} \quad Q_{rshu} \geq 0, \quad \sum_h Q_{rshu} = Q_{rsu}$$

ここで、

Q_{rshu} : は時間帯 h に出発する OD ペア rs の交通量

Q_{rsu} : 車種 u の OD 交通量の合計値

ただし、不等式制約条件 $Q_{rshu} \geq 0$ は、時間帯別 OD 交通量が非負である制約を、 $\sum_h Q_{rshu} = Q_{rsu}$ はある車種のある OD ペアの交通量の既知である場合の等式制約条件である。

また、制約条件を評価関数に含めるため、制約条件をペナルティ関数に変換し、評価関数に追加したのが式(6)である。第一項は元の評価関数、第二項は不等式制約条件のペナルティ関数、第三項は等式制約条件のペナルティ関数である。

$$E = \sum_{k\tau u} \left(\hat{q}_{k\tau u} - \sum_{rsh} \frac{Q_{rshu}}{1 + \exp(-\theta_u \Delta c_{k\tau u}^{rsh})} \right)^2$$

$$+ \rho_1 \cdot \max(0, -Q_{rshu})^2 \quad (6)$$

$$+ \rho_2 \left(\sum_h Q_{rshu} - Q_{rsu} \right)^2$$

ここで

ρ_1 : 不等式制約条件のペナルティ係数

ρ_2 : 等式制約条件のペナルティ係数

評価式(6)により、シミュレーション結果のログサムコスト差、観測交通量、時間帯別 OD 交通量及びロジット感度パラメータから評価値を算出できる。この評価値に基づいてシミュレーションパラメータを反復手法によって調整する。

3. 本手法による調整結果の検証

本手法によるシミュレーション入力値の調整の再現性を検証するために、柏市ネットワーク全域を対象としてシミュレーション入力データを作成し、本手法に基づいた調整プログラムを用いて、時間帯別 OD 交通量とロジット感度パラメータの調整を行い、シミュレーションで計算されたリンク交通量と観測交通量とを比較して再現性を検証した。

3.1 シミュレーション概要

シミュレーションは図2で示すような比較的規模の大きいネットワークとした。表1にシミュレーション入力値の詳細を示した。車種は普通車と大型車を設定した。時間帯別 OD 交通量の数は、OD ペア数 4640 に時間帯数 24 を乗じた 111360 であり、調整パラメータの規模の大きさ



図2 シミュレーションのネットワーク

表1 シミュレーション入力値の詳細

ノード数	3274
リンク数	8173
セントロイド数	83
車種数	2
信号交差点箇所数	48
OD 交通量の OD ペア数	4640
シミュレーション時間	24 時間
車両発生間隔	1 時間

を示している。

シミュレーション計算には、広域道路網交通流シミュレーションモデル SOUND(Simulation on Urban road Network with Dynamic route choice)を用いた。今回、シミュレーション入力値の初期値として用意した時間帯別 OD 交通量は、平成 17 年度道路交通センサスペース関東地域現況 OD 表から対象ネットワーク部分を切り出し、ネットワーク境界部で観測交通量の時間帯変動に合わせたものである。ロジット感度パラメータの初期値は 0.01[1/s]とした。また、観測交通量には、図3で示した柏市内の56器の車両感知器から得た1時間単位の集計値を用いた。

3.4 シミュレーションパラメータの調整結果

本手法に従って時間帯別 OD 交通量及びロジット感度パラメータを調整した結果、リンク交通量の再現性が向上した。図4は、パラメータ調整前後における、シミュレーション結果のリンク交通量と観測交通量の比較結果である。また、表2に示したパラメータ調整前と後のリンク交通量の決定係数から、リンク交通量の再現性が大きく向上したことがわかる。

表3に確率経路選択パラメータであるロジット感度パラメータの調整前後における値を車種ごとに示した。このように、ロジット感度パラメータの値も大きく調整された。以上の調整は、シミュレーションの実行をわずか3回で済ませており、時間帯別 OD 交通量数 111360 に対

して短時間で調整がされたと言える。また、評価値は図5のように、1回毎に大きく減少しており、調整が効率的であることを示している。

4. まとめ

4.1 本研究の成果

本研究では、交通流シミュレーションを用いて、シミュレーション結果の交通量と観測交通量の誤差が小さくなるように、時間帯別OD交通量及びロジット感度パラメータを調整する手法、及びプログラムを開発した。また、本手法を柏市域のシミュレーションに適用し、シミュレーションの現況再現性が向上することを示した。

4.2 今後の課題

本研究の成果から得られた今後の課題を以下に示す。

- ・今回は、パラメータ最適解の探索に最急降下法を用いたため、局所的最適解に収束している可能性が高い。そのため他の探索手法の適用も考えたい。
- ・調整対象として、ボトルネックの交通容量など、他のシミュレーションパラメータについても考慮する。
- ・パラメータ調整に使用する観測交通量の適切な設定位置や数が不明確であり、観測交通量の箇所数や面的な広がりの違いが結果に及ぼす影響を分析する必要がある。

謝辞

本研究は、平成23年度総務省ICTグリーンイノベーション推進事業(PREDICT)「市民の交通行動変容を促進する持続可能な生活交通情報フィードバックシステムの研究開発」の成果を柏ITS推進協議会の活動において活用したものである。協議会において貴重な意見を賜った参加メンバー各位、及びデータ利用等についての便宜を図っていただいた千葉国道事務所様、千葉県警察本部様に、ここで深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 古川, 橋本, 上坂: OD交通量逆推定手法の大規模ネットワークへの適用に関するケーススタディ, 土木計画学研究・講演集, 土木学会, Vol. 41, CD-ROM, 2010.
- 2) 三輪, 山本, 竹下, 森川: プローブカーの速度情報を用いた動的OD交通量の推定可能性に関する研究, 土木学会論文集D, vol. 64, No. 2, pp. 252-265, 2008.
- 3) 北岡, 寺本, 小根山, 桑原: OD交通量推定手法による現況再現, 土木計画学研究・講演集, 土木学会, No. 25, CD-ROM, 2002.



図3 観測交通量の箇所

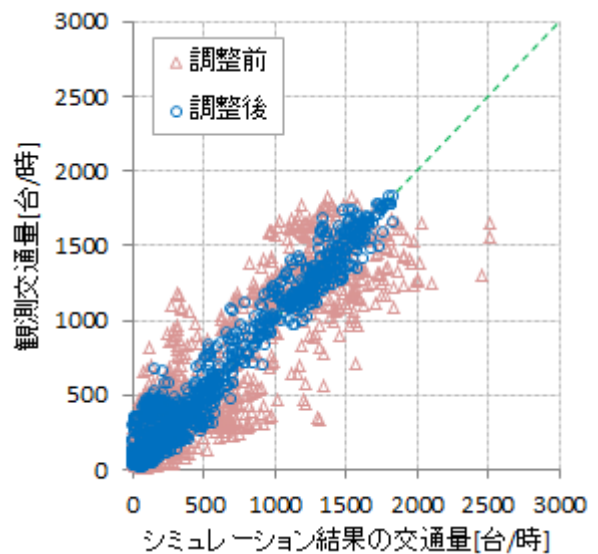


図4 リンク交通量の再現性

表2 調整前後のリンク交通量の決定係数

	決定係数 R2
調整前	0.744
調整後	0.948

表3 ロジット感度パラメータの推移

	乗用車	大型車
調整前	0.01000 [1/s]	0.01000 [1/s]
調整後	0.00574 [1/s]	0.00016 [1/s]

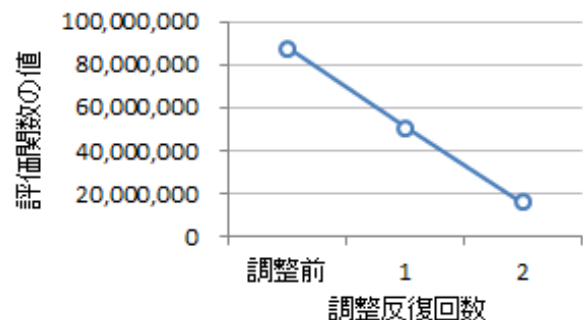


図5 評価値の推移