

ミクロシミュレーションと観測データを融合した高速道路の所要時間変動の短期予測

広瀬 尚樹¹・佐々木 邦明²

¹正会員 山梨県東建設事務所（〒404-8601 甲州市塩山上塩後1239-1東山梨合同庁舎 2 階）
E-mail:hirose-whgj@pref.yamanashi.lg.jp

²正会員 山梨大学教授 山梨大学医学工学総合研究部（〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11）
E-mail: sasaki@yamanashi.ac.jp

一般にミクロシミュレーションによる道路の状態予測では、交通状態の変化の際に誤差が発生しやすい。しか状態変化のタイミングが重要な場合も多く実務的利用には課題がある。一方、リアルタイムデータが活用可能になりつつある現在、それを活用した交通分析手法についての検討が行われている。そこで、本研究はリアルタイムデータをネットワークの現在の状態を示す情報としてシミュレーションに活かすことで、近い未来の予測をより精度高く行うことを目的とする。事例研究の結果からはOD交通量自体に誤差のあるデータを用いても、渋滞発生時や解消時の状態変化がおこるような状態において誤差の少ない予測が可能になることが示された。

Key Words : Data Assimilation, Particle Filter, Real-time Data, Traffic Simulation

1. はじめに

首都圏をはじめとする大都市圏だけでなく、地方圏においても高速道路において渋滞は頻発しており、いっどこでどのような問題により交通渋滞が発生するのかを把握し、情報提供を含めた適切な交通需要マネジメントを行うことがより円滑な交通を達成するために必要とされている。より詳細な道路状態を予測するためには、一台一台の走行をシミュレートしたミクロ交通シミュレーターがより詳細な予測を可能にすると期待される。一般に、ミクロ交通流シミュレーターは、道路や他車を含めた走行環境の中で、与えられた走行パラメータによって速度や車頭間隔等を設定し時間に沿って一台一台のシミュレーションを行うことになる。このとき走行パラメータの与え方によってシミュレーションの結果が異なる。走行に関わるパラメータは、ドライバーによる差違はもちろんのこと、そのときの交通状態によっても変動するため、ミクロシミュレーターの多くはそれらを表現するためにパラメータの分布を与えて、確率的に決定するなどとしている。このように交通シミュレーションでは、道路構造、走行パラメータ、OD 交通量などの設定を行う事により、より現実に近い交通状況の再現・予測が行えると考えられる。しかし、交通渋滞の発生時などにおいては、再現を行う交通状況が極めて複雑な要素が関係

する現象であり、シミュレーションにおけるパラメータの設定は非常に困難である。このような背景から、観測交通量などの実データから、パラメータの推定を行う研究がなされている¹⁾。

一方、交通状態の観測についても技術が進んでおり、トラフィックカウンターによる交通量計測や、高速道路においては、各 IC からのリアルタイムの流入交通量等も利用可能になりつつあり、より正確な交通状態推計のためのデータがそろいつつある。

このような背景のもと、著者らは先行研究において²⁾、時系列モデルの一般形である状態空間モデルを用いて交通所要時間の推計を行った。そこで用いたシステムモデルを、よりフレキシブルに多くの予測に活用可能な交通シミュレーションに置き換えて、道路の状態予測をより詳細な状態を記述できるシステムモデルとして用いる。併せて観測データによってシミュレーションの出力との比較を行い、その差異に基づいてシミュレーションのパラメータの更新を行う。特に先行研究で所用時間の再現に着目して、その非正規特性が明らかになっているため、それに対応可能なパーティクルフィルタを用いて、逐次パラメータ更新を行い、パラメータを変化させることで交通シミュレーションの状態再現性の向上可能性を検討する。

2. 本研究で用いるモデル

(1) 状態空間モデル

交通シミュレーションモデルは、一般に規定された構造とパラメータに基づいて、交通状態の時間的な遷移を記述するシステムであるため、離散的な時間間隔を想定した差分方程式の枠組みでも記述することができる。また観測データはある離散時間での集計量等で観測される場合には、離散時間での観測モデルとなり以下の2式でこの関係を表現することができる。

$$x_{t+1} = f(x_t, \alpha_t) + v_t \quad (1)$$

$$y_{t+1} = g(x_{t+1}, \beta_t) + w_t \quad (2)$$

x_t : 時刻 t における交通状態

y_t : 時刻 t における交通状態の観測値

α, β : パラメータベクトル

v_t : 時刻 t におけるシステムノイズ

w_t : 時刻 t における観測ノイズ

これは先行研究²⁾に従って一般的な状態空間モデルとして取り扱うことができる。また先行研究の成果に従い、システムノイズを正規分布、観測ノイズを一様分布として設定する。

(2) パーティクルフィルタ

(1)で設定したような、非ガウス型の状態空間モデルの状態推定においては、パーティクルフィルタが用いられることが多い。パーティクルフィルタは、カルマンフィルタなどと同様に、過去の状態に関する情報に現在の観測情報を追加することで、現在の状態を推定する手法である。具体的には次の期を多数のパーティクル（粒子）を発生させて推定し事前分布とする。ここで、観測値が得られた時に、それを尤度とみなしてパーティクルのリサンプリングを行い次の状態の事後分布とするアルゴリズムである。パーティクルフィルタの特徴として特定の分布が必要でなく、パーティクルで直接的に分布の近似を行うため、システム・観測モデルのいずれもが非線形・非ガウスの場合でも取り扱うことが出来る。

(3) 交通流シミュレーション

本研究では交通シミュレーターとして Aimsun を用いて検討を行う。Aimsun はスペインで研究・開発され欧州を中心に世界的に普及してきた交通ミクロシミュレーターである。日本の交通事情にも対応しており、日本国内でも多くの導入実績を有している。様々な形のシミュレーションが可能であるが、基本的なシミュレーションパラメータには、車種別希望速度（最大・最小、平均、標準偏差）、反応時間、感度などがあり各車両の追従行動を規定する。Aimsun を用いた理由として、API による

拡張が可能であり、今回用いるような状態空間モデルの一部として組み込む際の拡張性が高いことがあげられる¹⁾。

(4) 本研究でのアルゴリズムの概要

状態空間モデルにおけるシステムモデルは、交通状態の時刻 t から $t+1$ への遷移過程を表現しており、交通流モデルそのものを数学的に直接記述したものと考えられる³⁾ため、(1)式で示されるシステムモデルを交通シミュレーションに置き換え、予測を行う事が可能である。本研究では、先に述べたようにシミュレーションソフト Aimsun を状態空間モデルにおけるシステムモデルとして利用する。状態空間モデルの変数である交通状態として OD 所要時間を選定し、シミュレーションによる走行時間の結果を予測サンプルとして、その実際の走行時間がデータとして得られた際に、そのデータを尤度として所要時間の事後分布を推定していくことになる。以下、本研究のアルゴリズムである。

1) 道路の状態を設定し、時間帯別の OD 交通量をシミュレーションへ入力。

2) シミュレーションを実行し所要時間分布を取り出す。

これを所要時間の予測サンプル(事前分布) $S_{t|t-1}^{(i)}$ とする。

3) ある OD 間の所要時間観測データを得ることで、所要時間の観測分布を得る。

4) 観測分布を重み(尤度) $\pi_t^{(i)}$ として予測サンプル $S_{t|t-1}^{(i)}$ を重みに比例する割合でリサンプリングする。ここから得られる分布を事後分布 $p(x_t|y_t)$ とする。

5) 事後分布から速度に関するパラメータを算出し、得られた速度に関するパラメータ次状態のパラメータとして用い、次期のシミュレーションを行う。

この2)～5)プロセスを繰り返し行うことで逐次的な状態を予測していくことになる。ここで、時間帯別のOD交通量や所要時間がわかっているデータが得られた時には、リアルタイムでODや所要時間データが得られた状態を再現できると考えられる。よって、そのようなデータを用いることができれば、リアルタイムデータを得たときの短期の状態予測を精度よく行うことが検討可能である。

3. 事例研究

(1) 対象とするデータ

本研究で用いるデータはリアルタイムデータを想定し、詳細な時間帯別の OD 交通量や経路所要時間が明らかなデータとして、高速道路の IC 間 OD データを用いる。

特に中央道上り方向八王子BTを通過したETC搭載車の交通量データを用いた。用いたデータは平成18年5月に得られたものである。八王子IC手前には、小仏トンネルがあり、中央道上り方面ではこのトンネルを先頭に渋滞が頻発する。特に渋滞が起きやすいGWを含む5月のデータを用いて、渋滞頻発個所での交通状態を分析の対象とすることで、渋滞という複雑な相転移現象が起きるときのシミュレーションの再現性を確認し、リアルタイムで走行時間データが得られたと想定してパラメータを逐次更新し、シミュレーションによる予測の精度の変化を検証する。

図-1 に、用いたデータの八王子断面での15分ごとに集計した交通量の1か月の変動を示す。交通量は24時間の変動と週末にピークを迎えることがわかり、5月初旬には交通量が連続して高い状態を示している。これはGW時に交通量の多い状態が連続したことを示している。この間に八王子を通過する交通量の出発ICとして最も利用の多い河口湖ICからの15分間の平均所要時間を示したものが図-2である。こちらではところどころ非常に平均所要時間の長い時間がみられるが、これは出口での通過時間から求めたものであり、台数が少ない時間帯に途中のSA等での休憩などが含まれた場合である。また、定期的に所要時間が増加しているのは、平日の夕方や休日に混雑が発生した為であり、5月初旬の連休時には所要時間が長い状態が連続していることがわかる。

(2) Aimsunを用いたシミュレーション結果

Aimsunに中央道の特性と平成18年5月1日～5月31日の15分間の各IC流入交通量を与えてシミュレーションを行った結果と観測データとの比較を図-3に示す。簡単のため中央道は富士吉田線の身を再現し、西宮線については一括して大月JCTより流入させた。希望速度等のパラメータは多くのパラメータを試したうえで、最も誤差が小さくなったパラメータを採用した。高速道路の単路であるため、それほど大きな誤差は生じていない。

より詳細に誤差の発生状況を見るために、図-4に誤差のみを時系列的に表示した。GWである5月4日～7日にかけては、他の期間と比較して誤差が大きいことがわかる。この時期には通常時とは異なる特性を持つドライバーが多いことや、連続した交通渋滞の発生により交通状態が不安定な状況が連続しておりシミュレーションの誤差が生じたと考えられる。そこで、誤差の大きいGW付近の所要時間について、精度の改善が可能かについて検討を行う。

図-5は5月4日に着目して、シミュレーションの結果と観測データについて八王子断面の15分間の集計交通量を比較したものである。誤差に着目して図に示したも

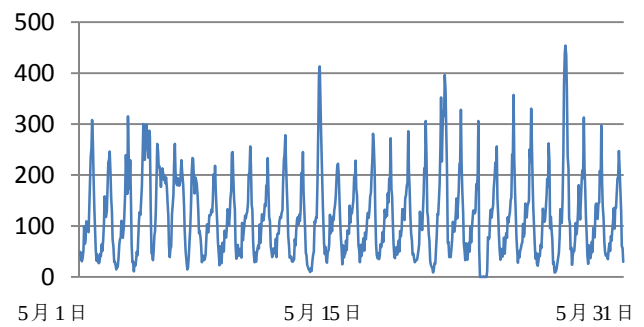


図-1 八王子断面交通量(15分毎)

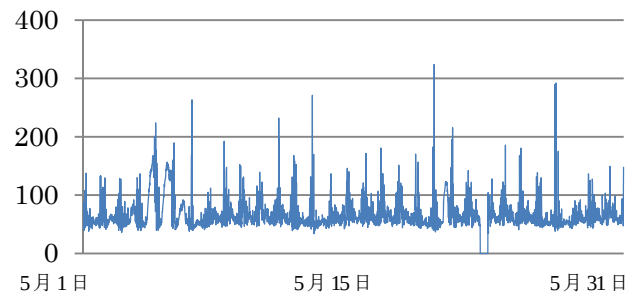


図-2 河口湖-八王子間平均所要時間

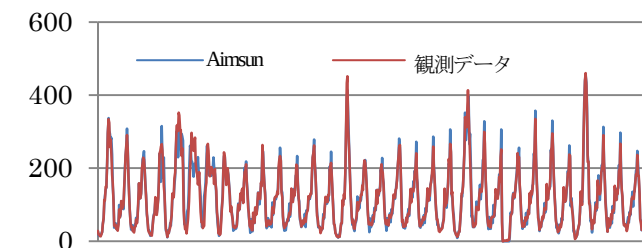


図-3 八王子断面交通量の比較

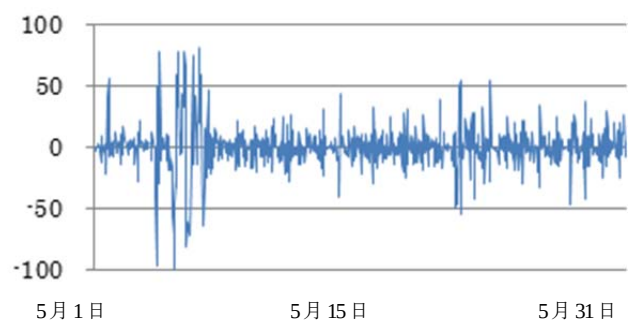


図-4 シミュレーション結果と実測値との誤差

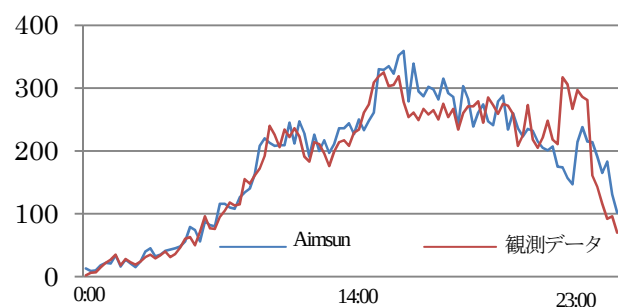


図-5 5月4日の八王子断面の交通量比較

のが図-6である。渋滞が発生しない14:00前まではほとんど誤差なくシミュレーションが行われているが、渋滞が発生し始めた14:00頃から、渋滞の収束した23:00にかけて、ところどころで大きな誤差が発生している。そこで、河口湖八王子間の走行時間に着目して、先に述べたように、(1)式で示した交通状態を走行時間分布ととらえて、シミュレーションのパラメータの逐次更新アルゴリズムを導入して速度パラメータを更新した。Aimsunのには走行時間のパラメータは無いことから、速度パラメータに着目して、走行時間の特性値から平均走行時間のパラメータを計算し、走行時間分布の推計値を希望速度分布として近似し、Aimsunのパラメータを15分ごとに更新するアルゴリズムを導入して再度シミュレーションを行った。その結果の誤差のみを取り出したのが図-7である。

これらの図から、提案した逐次パラメータ更新によって誤差の発生は大きく抑えられていることがわかる。特に渋滞が始まった直後や、渋滞解消時に起きていた大きな誤差の発生を抑えることができた。今回は更新パラメータとして希望速度の平均値、分散、最大・最小値を用いた。その一例として図-8に5月4日の希望速度の平均値の推移を示す。希望速度が渋滞発生時以降は徐々に低下し、渋滞解消が起きる23時ごろまでその傾向が続いている。それぞれのパラメータの更新に対してのシミュレーションの誤差の発生感度については、平均値の身を更新した場合には渋滞付近の状態推定を大きく改善することが示された。また、分散の更新は夜間等の交通量が少ない状況での変動の追従を改善した。最大・最小値については目立った変化を示さなかった。

4. おわりに

本研究ではデータ同化の考え方をを用いて、交通流シミュレーションと疑似的なリアルタイム観測データを用いて、交通状態のフィードバック的アルゴリズムによる推計を行った。特に高速道路の単路部において行った事例研究からは、ゴールデンウィークという特殊な運転特性を持つドライバーが多く存在する時期の渋滞の発生・解消付近でシミュレーターが大きな誤差を発生させていた。これは運転者特性が一定でない状況や交通状態が不安定な状況においては、正確なシミュレーションを行うことが難しいことを意味していると考えられる。しかし、実際問題として交通管理においては渋滞の発生や渋滞の解消という状態の変化に対しての予測を行うことが求められ、今回は一例ではあるが、走行時間のリアルタイムデータが得られた場合には、それを用いてシミュレーターのパラメータを更新することが、シミュレーションの誤差を

大きく削減することを示すことができた。

本研究では更新するパラメータとして希望速度の代表値を用いた。これは、シミュレーターのアウトプットとして各車の所要時間があり、速度に関する分布を事後分布として活用しやすいことが理由であるが、反応時間や感度等、どのパラメータを更新すべきかが課題として存在する。また、今回のように単路でなく、ネットワークのデータが得られた場合の予測については、計算所用時間が現実的なものとするためにはアルゴリズムの改善も必要になってくるであろう。以上のような課題はあるものの、時系列のリアルタイムデータの取得が可能な場合に、シミュレーターに融合することによって、短期的な状態予測の精度改善が可能になると考えられる。

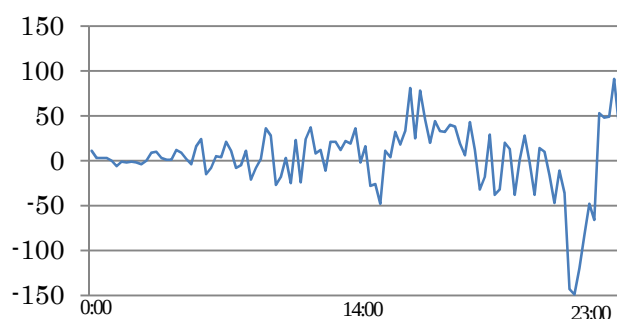


図-6 5月4日の誤差発生状況

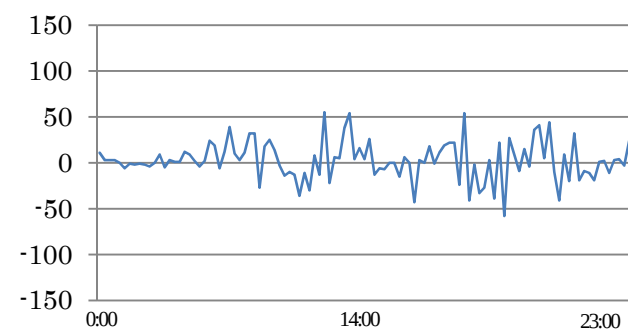


図-7 逐次パラメータ更新を行ったシミュレーションによる誤差

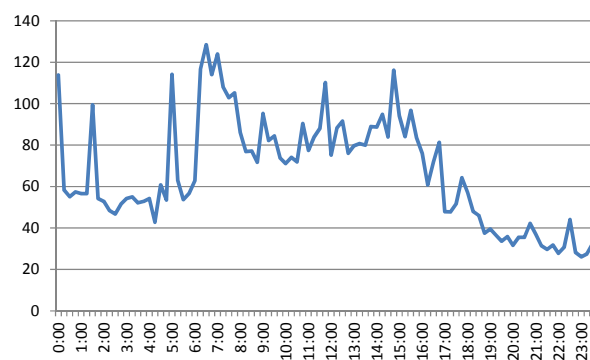


図-8 更新パラメータの時系列(希望速度の平均値)

謝辞：本研究は、NEXCO 及び高速道路総合技術研究所には、貴重なデータ提供と共に有意義なコメントを頂いた。この場を借りてお礼の言葉を申し上げたい。

参考文献

- 1) 藤井涼, 中辻隆, モデルパラメータのオンライン推計のための交通流シミュレーターAPI とパーティクルフィルタの統合環境について, 土木計画学研究・講演集, Vol.42, (CD-ROM) 2010.

- 2) 名取優太, 佐々木邦明, 山本隆, 井口均: 状態空間モデルを用いた高速道路の交通特性の時空間的な変動分析, 土木計画学研究講演集, Vol.47, 2013
- 3) 福田大輔: データ同化アプローチによる交通状態の推定に関する研究動向, 交通工学, Vol.47, No.2, pp33-38, 2012

(2014. 8. 1 受付)

Data assimilation for Micro-simulation based Short Term Prediction of Highway traffic

Naoki HIROSE , Kuniaki SASAKI