

状態空間モデルにおける交通シミュレーションの活用に関する研究

山梨大学 工学部土木環境工学科 ○学生会員 広瀬 尚樹
山梨大学 大学院医学工学総合研究部 正会員 佐々木 邦明

1. 背景

高速道路は、地域交流や地域連携の核となる交通インフラとして、これまで地域復興や産業復興、豊かな消費生活、余暇活動を支え、発展してきた。現在高速道路の総延長は92000kmに達しており、利用台数は年間16億7千万台に達している¹⁾。その一方、利用台数が増加することにより交通渋滞が発生し、高速道路における速達性や快適性が低下してしまっていることが問題となっている。高速道路供給者の責務としては、いつ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、適切な交通需要マネジメントを行う必要がある。そこで本研究では、時系列モデルの一般系である状態空間モデルの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ことにより、より精度の高い予測を行う構造モデルの構築を目的としている。状態空間モデルにおけるシステムモデルは交通流モデルそのものを数学的に記述したものであるため、交通シミュレーションを直接利用することにより、精度の高い予測が行えると考えられる。

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、リアルな交通状況の再現、予測が行える。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は極めて複雑であり、シミュレーションにおけるパラメータ調節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³⁾。

そこで本研究では、複雑な交通状況の変化に対応可能なパーティクルフィルタのアルゴリズムを用いて、パラメータ推定を行い、パラメータ補正による交通状態の再現性を検討していく。

2. モデル

本研究では、パーティクルフィルタを用いた状態空間モデルを用いてパラメータの推定を行い、シミュレーションにおける走行パラメータの補正を行っていく。本研究のフローを図-1に示す。

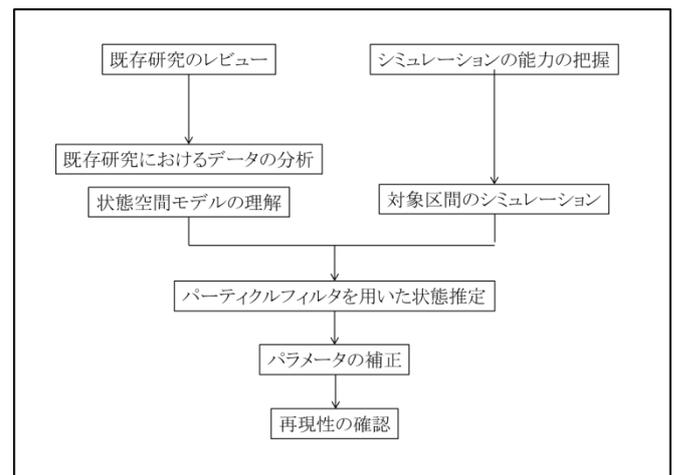


図-1

2.1 状態空間モデル

$$x_{t+1} = x_t + v_t \quad \text{システムモデル} \quad (1)$$

$$y_{t+1} = x_{t+1} + w_t \quad \text{観測モデル} \quad (2)$$

名取による所要時間分布の変動推定の研究では、システムモデル、観測モデルは共に所要時間分布を表している。また、 v_t および w_t はそれぞれシステムノイズ $v_t \sim N(0, 10^2)$ 、観測ノイズ $w_t \sim U(-0.5, 0.5)$ を表している。観測ノイズおよびシステムノイズの値により結果の精度が変わるため、結果の精度の確認を行いそれぞれの値を用いることとした。

2.2 パーティクルフィルタ⁵⁾⁶⁾

Particle Filter は、現状態から起こりうる多数の次状態を、多数のパーティクル（粒子）に見立て、全パーティクルの尤度に基づいた重みつき平均を次状態として予測しながら追跡を行っていくアルゴリズムである。離散選択モデルにおいて Mixed Logit 等の積分計算に多数の乱数を用いられるのと同じ理屈であり、パーティクルによって、経験分布による

直接的な近似を行い、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容易に取り扱うことが出来る。以下、パーティクルフィルタを用いた状態空間モデルのアルゴリズムである。

- ① 初期分布 $P_0(x)$ を設定：ETC 観測データ(図-2)⁴⁾より、所要時間分布の形状から、初期分布 $P_0(x)$ は対数正規分布に従う分布と仮定する。 $i = 1, \dots, N$ についてサンプル $s_{0|0}^{(i)} \sim P_0(x)$ を生成する。

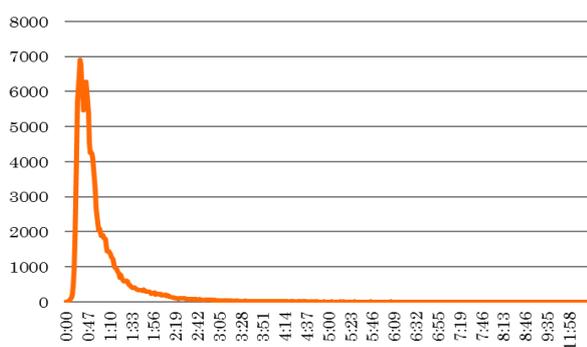


図-2 所要時間分布の形状

- ② 予測： $i = 1, \dots, N$ についてシステムノイズ $v_t^{(i)}$ を発生させ予測サンプル $s_{t|t-1}^{(i)}$ を生成。
- ③ 重み付け：観測値を得ることで、式(3)より現状における各パーティクルの尤度 $\pi_t^{(i)}$ を求める。
- $$\pi_t^{(i)} = \frac{p[y_t | x_t = s_{t|t-1}^{(i)}]}{\sum_{i=1}^N p[y_t | x_t = s_{t|t-1}^{(i)}]} \quad (3)$$
- ④ 事後分布 $p(x_t | y_t)$ を求める：重み $\pi_t^{(i)}$ に比例する割合で予測サンプル $s_{t|t-1}^{(i)}$ を復元抽出。事後分布 $p(x_t | y_t)$ となる。
- ⑤ 推定された事後分布 $p(x_t | y_t)$ を次期の初期分布とし、②～⑤を繰り返し行う。

2.3 交通流シミュレーション (Aimsun)

Aimsun はスペインで研究開発され欧州を中心に南米、オセアニアそしてアジアへと普及してきたマイクロシミュレーター環境ツールである。このソフトは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する。精度・速度共に優れ、交通流シミュレーションの中でも代表格と言えるソフトである。シミュレーションを行うに当たって、道路ネットワークの作成、走行パラメータの設定、OD表の作成を行い、シミュレーションを動かしていく。Aimsun の走行パラメータには、Desired Speed, Acceleration, Deceleration などがあり、それぞれ Mean, Deviation, Min, Max を設定することがで

きる。本研究では、状態空間モデルを用いることで、平均速度のパラメータを逐次更新していく。状態空間モデルでは、システムモデルを交通流シミュレーション Aimsun に置き換える事で、状態空間モデルとシミュレーションを組み合わせ、より精度の高い予測を行っていくことを目指す。シミュレーションにおける OD 交通量や、走行パラメータの設定を 15 分毎短い期間で行う事で、細かな交通量の変動の予測を行っていく。

2.4 本研究アルゴリズム

状態空間モデルにおけるシステムモデルは、交通状態 x_t 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ため、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、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用いていく。上記のアルゴリズム①、②に関してシミュレーション結果を予測サンプルとして逐次状態を推定していく。以下、本研究のアルゴリズムである。

- ① 既存研究²⁾から、OD 交通量のデータを得て、シミュレーションへ入力。所要時間の細かな変動をとらえる為、15 分毎予測・集計を行う。
- ② シミュレーション結果から所要時間分布を取り出す。こちらが予測サンプル $s_{t|t-1}^{(i)}$ となる。
- ③ 実際の観測データから、本来の所要時間分布を得ることで重み $\pi_t^{(i)}$ を計算し、予測サンプル $s_{t|t-1}^{(i)}$ を重みに比例する割合で遷移させていく。こちらが事後分布 $p(x_t | y_t)$ となる。
- ④ 事後分布から平均速度を算出し、こちらの平均速度を次状態の平均速度として次期のシミュレーションを行い再現性の確認を行う。
- ⑤ ②～④を繰り返し行う。

3.対象データ

本研究で用いるデータは名取らから得た、平成 18 年 5 月に、全国の IC から高速道路に進入し、中央道上り方面で八王子 IC を通過した交通量データである。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し問題となっている。5 月 GW 中の交通渋滞発生箇所

を分析の対象とすることで、渋滞発生時におけるシミュレーションの走行パラメータを調整し、よりリアルな交通状況の再現を行っていく。



図-3 対象データ

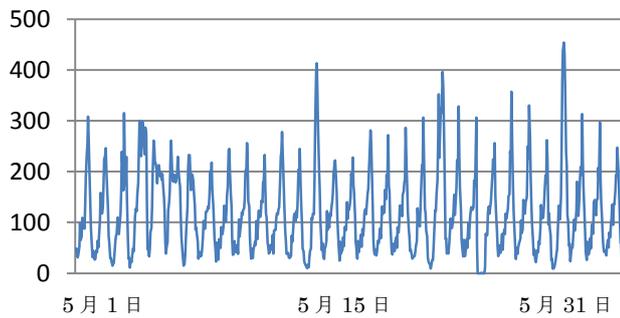


図-4 八王子断面交通量(15分毎)

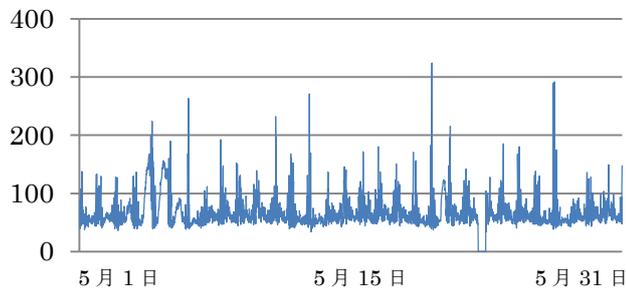


図-5 河口湖-八王子間平均所要時間

4. シミュレーション結果

平成18年5月1日～5月31日のシミュレーション結果と観測データとの比較を以下に示す。

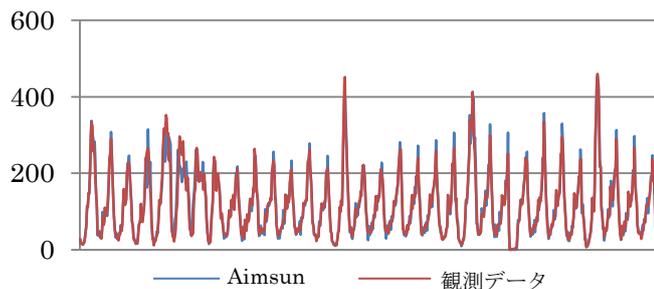


図-6 八王子断面交通量比較

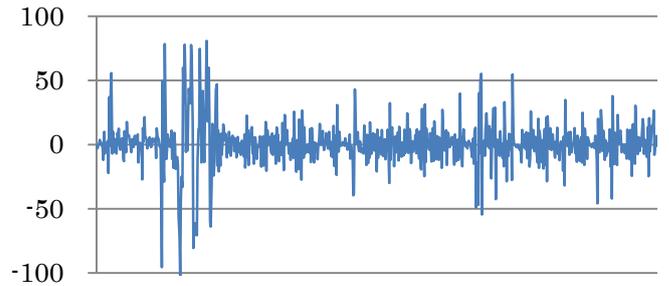


図-7 シミュレーション結果と実測値との誤差

図-7は図-6の交通の比較結果から差を取り出したものである。GWである5月4日～7日にかけて、シミュレーションの結果と観測値との誤差が大きいことがわかる。交通渋滞の発生により、シミュレーション結果と観測値にズレが発生してしまったと考えられる。今回、誤差の大きい4日に関してパーティクルフィルタを用いた状態空間モデルを使い、15分毎シミュレーションの走行パラメータを更新することで誤差の軽減を図る。

4.1 パラメータ推定

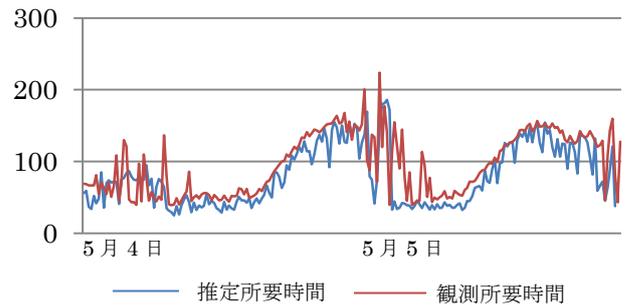


図-8 4日5日所要時間推定結果

図-8は4日5日の所要時間の変動をパーティクルフィルタを用い推定した結果である。所要時間の変動は、渋滞発生時間帯では、変動の幅は少なく、徐々に増加していく傾向にあり、また、夜中の時間帯では、SAへ立ち寄る車両や、速度の速い車両の影響により、変動が大きい事がわかる。

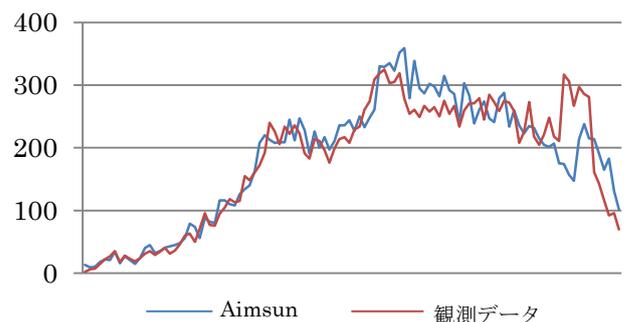


図-9 4日パラメータ修正前交通量比較

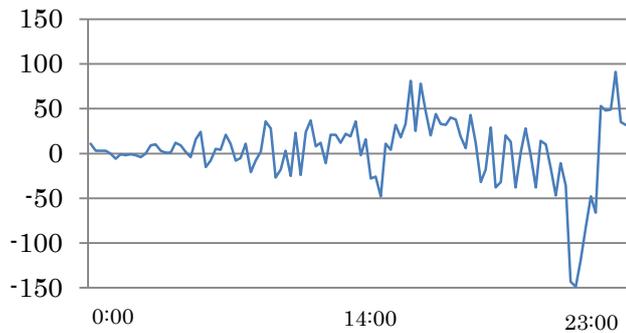


図-10 パラメータ修正前誤差

図-9, 図-10 はパラメータの修正を行う前の八王子断面での交通量の比較である。渋滞発生ポイントである14:00~23:00にかけて、誤差が大きくなっている。

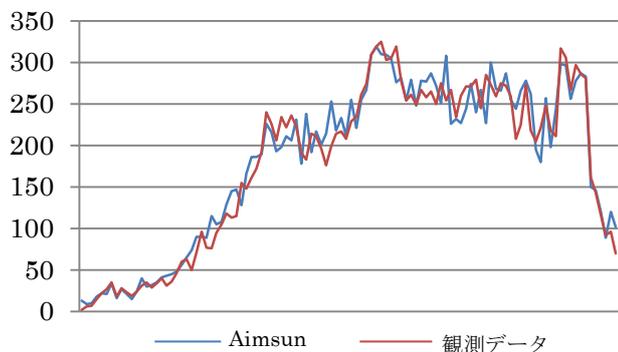


図-11 パラメータ修正後八王子断面交通量比較

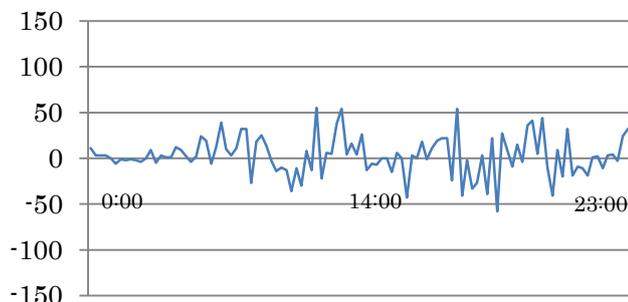


図-12 パラメータ修正後誤差

図-11, 図-12 に関しては、パラメータの推定を行い、走行パラメータを更新して予測を行った結果である。図-12 より、パラメータ修正前に比べて、誤差が少なくなっていることがわかる。この結果から、実際の観測データを得ることで走行パラメータを逐次更新し、シミュレーションを行う事で、より精度の高い予測ができると考えられる。

5.結論

交通流シミュレーションでは、渋滞の発生といった複雑な状況では、実際の観測値とは誤差が生じる結果となってしまう。その誤差の軽減を図るため、5

月4日の交通渋滞の発生期間である、GW上り八王子断面交通量に関して、パーティクルフィルタを用いた状態空間モデルを適用し、シミュレーションにおける走行パラメータの推定を行い、走行パラメータを更新し再現性の確認を行った。その結果、八王子断面交通量の予測に関して、より精度の高い予測を行うことができた。また、渋滞の発生時間帯や、渋滞長などの再現もより現実に近いものとなったと考えられる。しかし、長期的な予測に関しては、現状の方法では膨大な時間がかかってしまう為、今後検討が必要である。

参考文献・注釈

- 1) 国土交通省道路局
HP(http://www.mlit.go.jp/road/soudan/soudan_10b_01.html)
- 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, Vol47, 2013.
- 3) 藤井涼: パーティクルフィルタを用いた交通流シミュレーションモデルのオンラインパラメータ推計について, 土木学会北海道支部, 論文集, 第66号
- 4) 西田健: パーティクルフィルタを用いる状態フィードバック制御, 電気学会論文誌 C, Vol.133, No7
- 5) 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
- 6) udec ユーデック株式会社 HP
- 7) Aimsun Macroscopic Modeling Manual v7
TSS-Transport Simulation Systems 2005-2012
- 8) Aimsun Dynamic Simulators Users Manual v7
TSS-Transport Simulation Systems 1997-2012
- 9) Aimsun Users Manual v7
TSS-Transport Simulation Systems 2005-2012