

立命館大学大学院 学生員 ○高嶋望都

立命館大学 正会員 塩見康博

1. はじめに

高速道路における交通渋滞や交通事故は社会的・経済的にも大きな影響をもたらす。現在、様々な交通渋滞・事故対策が行われているものの、今後は刻々と変化する交通状態を把握し、動的なマネジメントを行うことが求められている。交通状態は定点に設置された車両検知器データを用いて推定される。そのため、検知器間の区間の交通状況を適切に把握することができず、交通状態推定の精度は検知器の設置間隔に依存することとなる。本研究ではこの問題点を解決するために、データ同化を用いて観測システムと交通流モデルとを組み合わせた交通状態推定システムを構築し、非観測区間を的確に推定することが可能であるか検討する。また、この交通状態システムを用いてサグ部で発生した渋滞現象を交通流モデルパラメータの変動に着目し、分析を行う。

2. 交通状態推定システムの構築

交通流モデルにはブロック密度法を適用し、本研究ではこれに観測システムを同化させる。構築する交通状態システムの概要を図1に示す。システム方程式、観測方程式はそれぞれ以下の通りに記述される。

$$x_t = f_t(x_{t-1}, v_t) \quad \text{式 2.1}$$

$$y_t = h_t(x_t) + w_t \quad \text{式 2.2}$$

x_t は t 時点における状態変数、 y_t は t 時点における観測データ、 v_t と w_t はそれぞれノイズである。

データ同化にはいくつか手法があり、先行研究¹⁾では拡張カルマンフィルタ（以下 EKF）が用いられている。EKFは非線形なシステムモデル、および観測モデルを近似的に線形化する手法であり、渋滞など非線形な事象に対する推定精度に限界があると考えられる。そこで本研究ではパーティクルフィルタ（以下 PF）というあらゆる非線形モデルに直接的に対応出来る手法

を用いる。双方でシステムの構築を行い、非観測区間の推定精度を EKF と PF とで比較する。

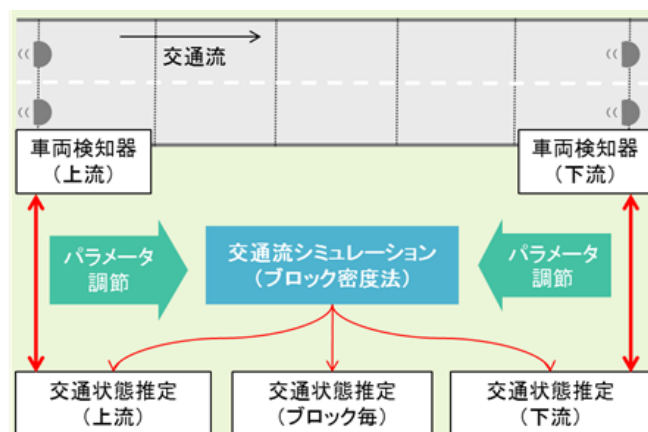


図1 交通状態推定システムの概要

3. 分析対象データとシミュレーションの設定

本研究では、阪神高速道路3号神戸線上りの2車線のパルスデータ10秒間集計値を用いる。対象とする区間は、慢性的な渋滞が発生するサグ部を含む。図2は路面計画高と縦断線形、車両検知器の設置個所を示す。これらの条件と、ブロック密度法は道路を分割しブロック毎に交通状態を推定するモデルであることから、シミュレーションのタイムステップを10秒とし、対象区間をブロック長280mの5つのブロックに分割している。データは2015年7月6日から16日の11日間を用い、その内13日から16日は渋滞対策である速度回復誘導灯が図2の示す区間に設置されている。

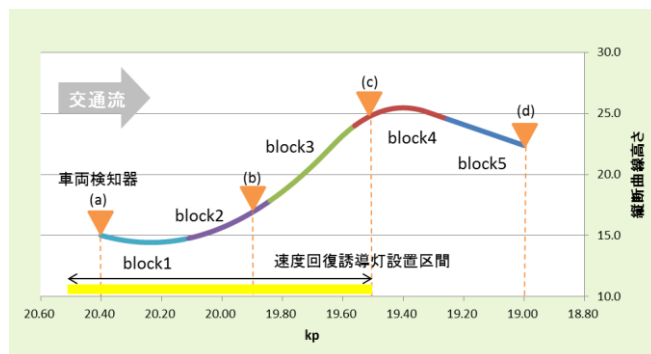


図2 対象区域の計画高とブロック分け

4. EKF と PF の比較結果

交通状態推定システムの精度を検証するため、図2中の(a)と(d)の車両検知器による観測データを用いてデータ同化を行い、サグの上り勾配に当たる(b)の観測値とEKF・PFの推定値を比較する。データは7月7日～12日の6日分のデータを用い、図3に断面通過交通量の観測値と推定値の時系列比較を、図4に各観測日のRMSE値を示す。

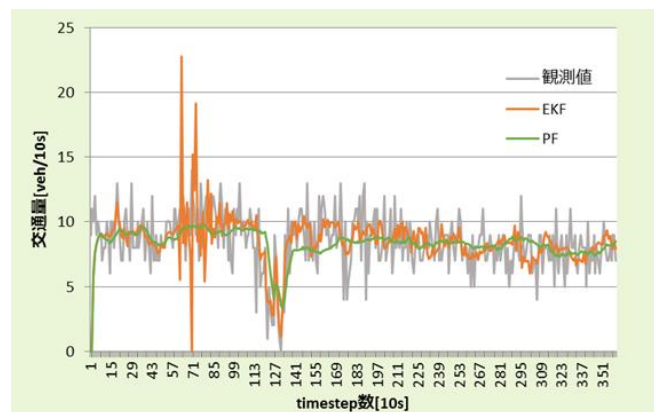


図3 (b)における推定値と観測値の時系列比較

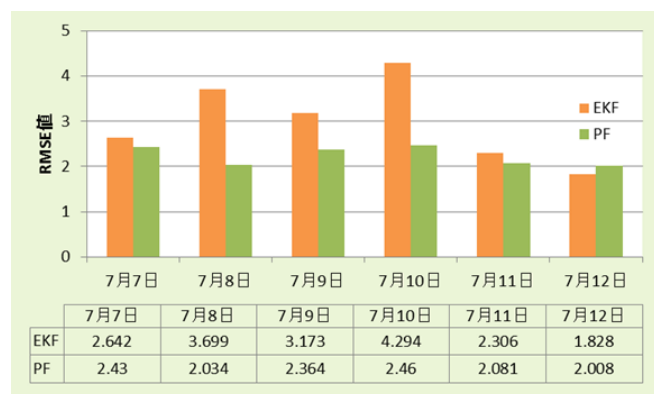


図4 RMSE 値の比較

図3より110タイムステップから交通流の全体の速度低下が発生しており、それによって交通量も低下していることが分かる。また、EKFでは推定値に大きな乱れが見られる一方、PFは比較的なめらかに、かつ的確に観測値の傾向を追うことが出来ている。他の観測日でも同様の結果が得られ、図4よりPFの方が高精度に断面通過交通量の推定がなされている事が読み取れる。

5. サグ部における渋滞現象の分析

交通渋滞推定システムは未知パラメータとしてブロック毎の臨界交通密度 K_c と自由流速度 V_f を含む。図2の全検知器データを用いて、パーティクルフィルタに

より各パラメータを推定し、渋滞発生前後での変動傾向を分析する。図5に臨界交通密度と自由流速度から算出した交通容量 $Q_c (=K_c V_f)$ のブロック毎の推移を示す。

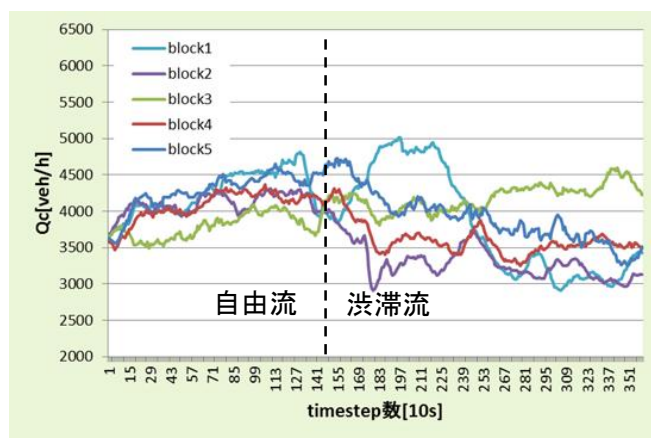


図5 ブロック毎の交通容量の時間推移

図5より渋滞が発生すると、交通容量が低下するCapacity Drop²⁾が発生していることが分かる。渋滞前はblock3が最も低い交通容量を示すが、渋滞後にはblock2, block1へとボトルネックが遷移していることが読み取れる。このことより、渋滞発生前では上り勾配部の円滑化、渋滞発生後はサグ底から上り勾配にさしかかる区間での円滑化を図ることが重要であると考えられる。

6. おわりに

本研究では、PFを用いて非線形にも対応出来るシステムを構築した。また、パラメータの動きを追う事で観測データでは測れない交通容量の変動が可視化された。その結果、自由流時に速度が低下するポイントと渋滞の先頭となるポイントが異なる可能性が示され、渋滞発生前・発生後で対策を講じる区間を変更するなど、きめ細かな対策が必要である可能性が示唆された。今後は対象区間を拡大し、かつ車線や車種などの影響を考慮する事で、より実際に近い交通流を推定するシステムを構築する必要がある。

【参考文献】

- 1) 藤井ら：フィードバック型交通状態推定手法の事故発生状況分析への適用可能性, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 70(5), I_1067-I_1076, 2014
- 2) Anupam ら: Empirical observations of capacity drop in freeway merges with ramp control and integration in a first-order model, Transportation Research Part C, Vol. 30, pp.161-177, 2013.