

単一の時系列データにおける渋滞発生の予兆検知について

中村佳祐¹, 岡本和也², 林邦好³, 宮路智行⁴, 友枝明保⁵

¹ 関西大学 総合情報学研究科 ² 早稲田大学 理工学術院総合研究所

³ 京都女子大学 データサイエンス学部 ⁴ 京都大学 大学院理学研究科 ⁵ 関西大学 総合情報学部

概要

本研究では、単一の時系列データからの渋滞発生の予兆検知を目的とし、時系列データからトレンド成分を除去した残差成分について分析を行った。対象は、2003年の円環状のコースを走行する密度が固定された実験データと、2018年の阪神高速道路における密度が変化する実データである。各データから算出した自己相関係数を調べたところ、その値がどちらの場合も渋滞発生前に増大する振る舞いを示すことがわかり、単一データにおける渋滞発生の予兆検知の指標となりうることを示した。

Detection of Precursors for the Onset of Traffic Congestion in Two Single Time-Series Datasets

Keisuke Nakamura¹, Kazuya Okamoto², Kuniyoshi Hayashi³,
Tomoyuki Miyaji⁴, Akiyasu Tomoeda⁵

¹ Graduate School of Informatics, Kansai University

² Waseda Research Institute for Science and Engineering, Waseda University

³ Faculty of Data Science, Kyoto Women's University

⁴ Graduate School of Science, Kyoto University

⁵ Faculty of Informatics, Kansai University

Abstract

This study aims to detect precursors for the onset of traffic congestion using two types of single time-series datasets. We analyzed the residual component obtained by removing the trend from the original data. Two datasets were examined: (i) experimental data in 2003, from vehicles traveling on a circular course under fixed density, and (ii) real-world data from the Hanshin Expressway in 2018 under fluctuating density. We found that the autocorrelation coefficient, calculated from each dataset, increases prior to the onset of traffic congestion in both cases. This result indicates that autocorrelation can serve as a potential indicator for the detecting precursors of congestion in a single time-series data.

1 はじめに

交通渋滞は、深刻な経済的損失を招くとともに交通事故の誘発要因ともなる、極めて重要な社会課題である。この問題の解消に向け、従来より数理モデルを用いたアプローチが展開されてきた [1]。近年で

は、計測技術の進歩が大規模データの取得を可能にし、時系列解析をはじめとするデータ駆動型手法を用いた研究が活発化している [2]。

先行研究 [3] では、システムが臨界点に近づく際に観測される臨界減速を Early-Warning Signals

(EWS) として利用し、状態遷移の予兆検知に応用している。ここで臨界減速とは、システムが外乱を受けた後、元の平衡状態へ回復する速度が低下する現象を指す。

また、[3] の理論に基づき、車両密度の増加に伴う加速度の分散及び自己相関の変化から EWS を観測した研究 [4] も存在する。しかし、当該研究 [4] は密度の異なる複数の時系列データを用いた分析であり、実時間で得られる単一の時系列データから遷移の予兆を捉える可能性については検討されておらず、実際の交通流データ（単一の時系列）への適用可能性に課題が残されていた。

こうした近年の研究動向と先行研究の課題を踏まえ、本研究では先行研究 [3] の手法を応用し、単一の時系列データから渋滞発生の予兆を捉えることを目的とする。本講演では、その分析結果を報告し、先行研究 [3] の手法の適用可能範囲の拡張を提示するとともに、高速道路におけるリアルタイムでの渋滞発生の予兆検知の可能性を示す。

2 単一の時系列データによる分析

分析対象として、密度に関して特性の異なる以下の二種類の単一の時系列データ (i,ii) を用いる。

(i) 密度が固定された単一の時系列データ

(2003 年、円環状のコースを 22 台の車両が周回する実験データ [5, 6])

(ii) 密度が変化する単一の時系列データ

(2018 年、阪神高速 11 号池田線 (大阪方面) 塚本合流付近、車両走行データ)

具体的な分析手法は、まず時系列データからトレンド成分を除去し、得られた残差成分から自己相関などの指標を算出する。そして指標の時間変化を確認し、急激な増大が確認できた箇所を予兆と見なす。その結果を図 1, 2 に示す。図 1 は時系列データ (i) における加速度、図 2 は時系列データ (ii) における速度の残差成分より算出した、ラグ 1 の自己相関係数の時間変化の様子である。図 1, 図 2 ともに、赤破線は自己相関係数が急激に増大を開始する時点より以前のデータを用いて算出した回帰直線である。図 1 では時刻 135 秒付近、図 2 では時刻 07 時 15 分付近において、自己相関係数の急激な増大が確認できる。

さらに、本講演では、車両走行速度以外のデータ、および他のデータセットを用いた分析結果、ならび

に自己相関係数以外の指標を用いた EWS の算出結果などについても併せて報告する。また、時系列データ (ii) に関しては、基本図から推定される臨界密度と、EWS が増大し始める時刻との比較を行った結果についても報告する。

最後に本研究で用いました Zen Traffic Data を貸与いただきました阪神高速道路株式会社に御礼申し上げます。

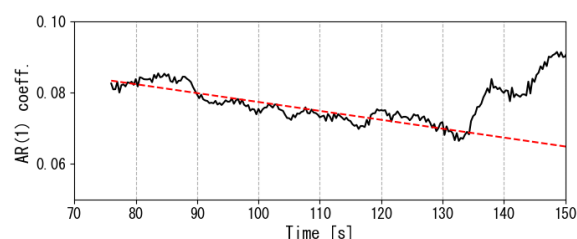


図 1: AR(1) 係数 / 時系列データ (i) ・ 加速度

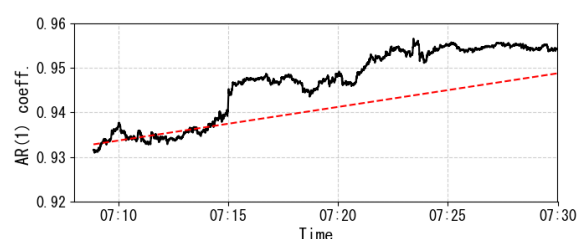


図 2: AR(1) 係数 / 時系列データ (ii) ・ 速度

参考文献

- [1] 杉山 雄規, 交通流の物理, ながれ, **22**, 95-108(2003)
- [2] 玉井 魁人, 宇野 伸宏, 連続車両軌跡データを用いた個車追従モデルの推定と車両挙動多様性の分析, 土木学会論文集 D3(土木計画学), **77** (5), I_675-I_685 (2022)
- [3] Scheffer, M. et al., Early-warning signals for critical transitions, *Nature*, **461** (7260), 53-59 (2009)
- [4] Ghadami, A. et al., Forecasting the onset of traffic congestions on circular roads, *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, **22** (2), 1196-1205 (2021)
- [5] Sugiyama, Y., et al. Traffic jams without bottlenecks—experimental evidence for the physical mechanism of the formation of a jam, *New J. Phys.*, **10**, 033001 (2008)
- [6] Nakayama, A., et al. Metastability in the formation of an experimental traffic jam, *New J. Phys.*, **11**, 083025 (2009)