

## 第IV部門

## 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の多様性

京都大学工学部地球工学科 学生員 ○玉井 魁人  
 京都大学大学院工学研究科 正会員 宇野 伸宏

## 1. はじめに

道路交通において渋滞や事故を減らすことは長年の課題である。渋滞や車両同士の事故は車両の相互作用に起因するので、車両挙動特性を明らかにすることが必要である。本研究では、車両挙動の中でも最も基本的な追従行動に着目する。推定された個車追従モデルに基づき、追従行動を類型化することで、追従行動の多様性を示すとともに、速度低下と追従行動特性との関係について分析する。

## 2. 研究手法

本研究では、後述の連続車両軌跡を活用できるので、Helly<sup>1)</sup>モデルを適用して各車両単位で「個車追従モデル」の推定を行う。推定後、個車追従モデルの推定パラメータについてクラスタ分析を行うことで追従行動の類型化を行い、クラスタ間の追従行動特性の差異について考察する。加えて、速度低下と類型化された追従行動特性との関係について分析する。

## 3. 分析対象データの概要

本研究では、阪神高速道路株式会社提供の Zen Traffic Data を用いる。Zen Traffic Data はビデオ画像より車両が認識され、走行軌跡が定量データ化された連続車両軌跡データである。データ生成区間は阪神高速道路 11 号池田線（大阪方面）塚本合流付近約 5.1kp から約 3.0kp までである。当該区間は各方向 2 車線の道路である。道路線形としては、曲率半径が 235m, 230m の S 字カーブや、縦断 0.3% から縦断 0.5% になるサグが存在し、渋滞が頻発している。

## 4. 速度低下に関する基礎分析

図 1 は当該データ 5 日分のうちの 1 日目（午前 7 時から 8 時）の右車線のタイムスペース図を示している。図 1 より 3.8kp 付近から速度 30km/h 以下の速度低下が起り始めている。このことは、合流部が存在し車線変更禁止区間となることで、右車線の利用増加が起こることと、

4.0kp 付近にサグが存在する影響だと考えられる。分析対象区間は速度低下が起きやすい区間であることが分かる。

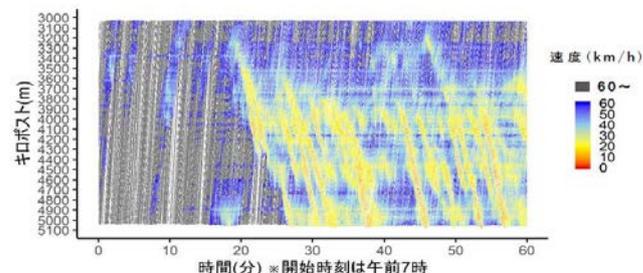


図 1 1 日目右車線のタイムスペース図

## 5. 個車追従モデルの推定と追従行動の多様性

個車の追従行動を把握するために当該データ 1 日目について個車追従モデルの推定を行う。追従走行状態にある車両として、大口・片倉<sup>2)</sup>の定義を用いて「同一車線上を走行している車両の中で、前方車両との車尾時間幅が 3 秒以内である車両」とする。そして、同一車両を前方車両として追従走行状態にあった時間が 20 秒以上続いたデータを抽出する。まず、推定対象車両及び推定対象車両の前方車両について分析対象区間における軌跡が完全であるものが、全 3411 台中、3111 台存在する。そのうち、追従走行状態が 20 秒以上続いたことのある車両が 2739 台存在し、これらを推定対象車両とする。

追従モデルとして式(1)で表される Helly モデルを用いる。式(1)を式(2)に変形することで推定を簡単にする。反応時間  $T$  について、0.1 秒から 3 秒まで観測間隔である 0.1 秒刻みで外生的に与え、 $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  について最小二乗法を用いて推定する。各車両で反応時間の異なる 30 パターン中、最も決定係数( $R^2$ )が高いモデルを最適モデルとする。

$$\ddot{x}_{n+1}(t+T) = C_1[\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)] + C_2[x_n(t) - x_{n+1}(t) - D_n] \quad (1)$$

$$\ddot{x}_{n+1}(t+T) = C_1[\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)] + C_2[x_n(t) - x_{n+1}(t)] + C_3 \quad (2)$$

$\ddot{x}_{n+1}(t)$  後方車両の加速度( $m/s^2$ ),  $\dot{x}_n(t)$  前方車両の速度( $m/s$ ),  $\dot{x}_{n+1}(t)$  後方車両の速度( $m/s$ ),  $x_n(t)$  前方車両の位置( $m$ ),  $x_{n+1}(t)$  後方車両の位置( $m$ ),  $D_n$  希望車頭距離( $m$ ),  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  推定パラメータ,  $T$  反応時間( $sec$ )

推定結果については、最適モデルの決定係数が 0.5 以上、

Kaito TAMAI, Nobuhiro UNO

tamai.kaito.66e@st.kyoto-u.ac.jp

かつ、 $C_2$ 、 $C_3$ 両者の  $p$  値が 0.05 以下で統計的に有意となる車両は 2005 台存在する。この 2005 台について、パラメータ  $T$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $D_n$  について正規化し、 $k$ -means 法によるクラスタ分析を行う。各推定パラメータに対するクラスタごとの頻度分布と平均値を図 2 に示す。図 2 より、クラスタ 1 は  $C_1$  の平均値が 0.392 と小さく、 $T$  の平均値が 1.0 秒、 $D_n$  の平均値が 36.8m と相対的に大きいので、前方車との関係の変化に対して穏やかな追従をする車両と考えられる。クラスタ 2 は  $C_1$  の平均値が 0.505、 $C_2$  の平均値が 0.0336 と大きく  $T$  の平均値が 0.7 秒と小さいので前方車との関係の変化に対して敏感に反応する車両と考えられる。クラスタ 3 は  $C_1$  の平均値が 0.457 と比較的大きい一方で、 $T$  の平均値が 0.9 秒と小さくはなく  $C_1$  と  $T$  の平均値の積が 0.411 となる。GM モデルの安定性解析の考え方に準拠すれば、交通流の安定性を阻害する可能性のある追従をする車両も含まれていると考えられる。クラスタ 4 は  $C_1$  の平均値が 0.405、 $C_2$  の平均値が 0.0038 と小さく、 $T$  の平均値が 1.0 秒と大きいので前方車との関係の変化に対して鈍感に反応する車両と考えられる。このように、追従行動には多様性が存在する。

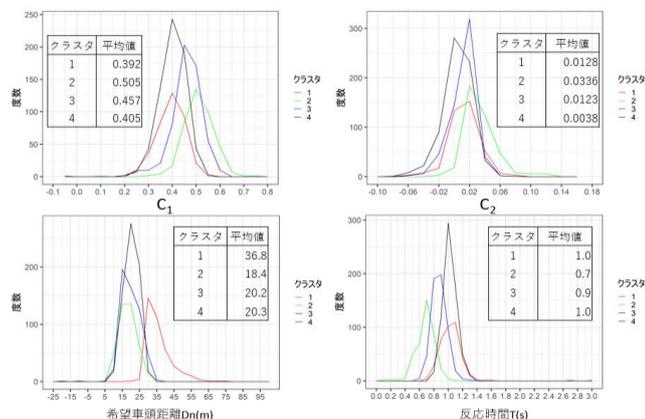


図 2 各パラメータに対する頻度分布と平均値

## 6. 速度低下と追従行動特性との関係

前節の分析内容を踏まえ、クラスタ 1 から 4 をカテゴリ H1 から H4 とするとともに、Helly モデルが適合しない車両挙動を別のカテゴリとする。具体的には、最適モデルの決定係数が 0.5 以上で  $C_2$ 、 $C_3$  の少なくとも一方が非有意となる車両挙動、ならびに、最適モデルの決定係数が 0.5 未満の挙動をカテゴリ H5 とする。上記のカテゴリ分類に基づき、交通流の乱れに対応する速度低下と追従行動特性との関係について分析する。速度低下については、速度 30km/h 以下が 10 秒以上続いた状態を低速度状態と分類した。カテゴリごとに低速度状態に陥ったことがあ

る車両と陥ったことがない車両の構成割合を表 1 に示す。カテゴリ H1, H2 においては、低速度状態に陥った車両の割合が高い。このことから、穏やかな追従をする車両や前方車との関係の変化に敏感に反応する車両であることと速度低下が生じにくいという傾向との間には相関があると考えられる。一方、H3, H4 では、低速度状態に陥ったことのある車両の構成割合が高い。このことから、交通流の安定性を阻害する可能性のある追従をする車両や前方車との関係の変化に対して鈍感に反応する車両であることと速度低下を生じやすいという傾向との間には相関があることが考えられる。

表 1 低速度状態に関する各カテゴリの構成割合

カテゴリ	構成台数	
	低速度状態に陥ったことがある車両(台)	低速度状態に陥ったことがない車両(台)
H1	114 (30.2%)	263 (69.8%)
H2	192 (48.4%)	205 (51.6%)
H3	393 (70.2%)	167 (29.8%)
H4	558 (83.2%)	113 (16.8%)
H5	414 (56.4%)	320 (43.6%)
合計	1671 (61.0%)	1068 (39.0%)

## 7. おわりに

本研究では、画像観測から生成された連続車両軌跡データを用いて、Helly モデルを適用し、追従行動の多様性を示すことを試みた。加えて、速度低下の発生とモデルの推定結果に基づく追従行動特性の類型との関係について分析を行った。知見として、穏やかな追従をする車両や前方車との関係の変化に敏感に反応する車両であることと速度低下が生じにくいという傾向との間には相関があると考えられる。交通流の安定性を阻害する可能性のある追従をする車両や前方車との関係の変化に対して鈍感に反応する車両であることと速度低下を生じやすいという傾向との間には相関があると考えられる。今後の課題として、走行中の追従行動の変容を明らかにすることや、速度低下、交通コンフリクトと追従行動特性との因果関係を明らかにすることが挙げられる。

謝辞 本研究で用いました Zen Traffic Data を貸与くださいました阪神高速道路株式会社に御礼申し上げます。

## 参考文献

- W. Helly, Simulation of bottlenecks in single lane traffic flow, In Proceedings of the Symposium on Theory of Traffic Flow, Research Laboratories, General Motors, pp.207-238, New York, 1959.
- 大口敬, 片倉正彦, 鹿田成則, “高速道路単路部をボトルネックとする渋滞発生特性に関する実証的研究 高速道路と自動車”, Vol.44, No.12, pp.27-34, 2001.