

車列変化がおよぼす後続車運転挙動への影響

長濱 章仁¹・柳澤 大地²・西成 活裕³

¹非会員 東京大学大学院工学系研究科 (〒153-8904 東京都目黒区駒場四丁目6-1)

E-mail: nagahama0814@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

²非会員 東京大学大学院准教授 先端科学技術研究センター (同上)

E-mail: tDaichi@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

³非会員 東京大学大学院教授 先端科学技術研究センター (同上)

E-mail: tknishi@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

深刻化する世界の交通渋滞の緩和対策として、車とバイクなどの混合交通流の分析は極めて重要である。本稿では、3車種以上からなる車列の解析の基礎として、バイク、乗用車、トラックのうち2台からなる車列をつくり、その車両順が後続車の運転挙動にどのような影響を及ぼすかを実験により調べた。その結果、速度に関する運転特徴は前走車の特性と同様になり、加速度の時間微分である加加速度の特徴は、加速側については前走車および後続車自身の車種で、減速側については後続車自身の車種のみで決まることが分かった。一方加速度については、前走車の運転特性および後続車どちらの特性も影響し車種の組み合わせを考慮する必要があり、それに伴って車間距離変化に対する感度も変化することが明らかになった。

Key Words : mixed-traffic, driving characteristics, vehicle type, combination, order

1. 序論

今日世界では、自動車の数が増加の一途を辿っており、それに伴って渋滞問題が深刻化している。特に一部の新興国では、一般的な乗用車の他にもバイクや自動三輪車など多種多様な車種が一定の割合を占めた状態で混合交通流を形成しており¹⁾、これまで得られてきた均一な交通流の知見では内部のミクロな流れを知ることが難しい状況である。

複数車種が混在する混合交通流に対しては、Masonら²⁾が乗用車とトラックの混合交通流の安定性を解析している他、Wong³⁾らによってMicroscopicなモデルにおいてバイクを明確にパラメタ上で区別する必要があることが示された。

しかしながらこれらの研究では、車列内の個々の車種によって運転の個性を考慮しており、前走車とそれに追従する後続車の車種の組み合わせに関して考慮をしておかなかった。この問題に対し、Yangら⁴⁾はトラック (T) と乗用車 (C) の前後組み合わせを考慮して、Intelligent driver modelのパラメタを変化させシミュレーションを行った。各組合せ割合に対する安定性や流量の変化を議論した結果、車両順が車列のマクロな挙動に影響することが明らかにされた。

以上を踏まえ本研究では、3車種以上の車両組合せを考慮した混合交通流解析を目指して、バイク (B)、乗用車 (C)、トラック (T) の内から選ばれた2台の車列における、後続車の運転挙動変化を調べる。

本稿ではまず、筆者らが行った実験に関して述べる。続いて解析する運転特徴を導入し、それらの変化を車種の組み合わせに注目して検討することで、各運転特徴が車列の前走車、後続車いずれからどのような影響を受けるかを調べ、今後の混合交通流シミュレーションにおけるパラメタ設定の方針を示す。

2. 実験

2台の車列内における車種の組み合わせが、後続車の運転挙動に及ぼす影響を調べるため、本研究はバイク、乗用車、トラックからそれぞれ前走車、後続車を選びテストコース内で走行指示を与えながら、走行軌跡を記録した。バイクには新興国の交通を再現するため50ccスクーターを用いた。乗用車にはトヨタ自動車のカラーラクシオを、トラックには、いすゞ自動車のエルフ2tアルミバンを用いた。なお、走行軌跡はそれぞれの車体にヘミスフィア製GPSアンテナ、A100を設置し記録した。

本測定は、他の交通が影響しないよう日本自動車研究

所の城里テストセンター総合試験路にて行った。図-1にコースの概念図を示す。測定エリアはスタートコーンから停止コーンに至る650 mの直線道路であり、その一部に70mまたは116mからなるブレーキエリアがある。

図-2に前走車および後続車の運転指示に関する概念図を示す。前走車には、スタートコーン横より停止状態から、通常の通勤をイメージさせながら加速をさせる。その後速度60 km/hに達した後は定速走行をさせる。図-1に示した減速開始コーンより減速を始め、可能な限り一定の減速で停止コーン横に停止するよう指示した。一方後続車には、前走車後方に停止した状態から、通常の通勤をイメージした状態で、前走車に追従するよう指示した。最高速度や減速開始に関して指示を与えなかった。

各車両の組合せにおける測定回数を表-1に示す。測定への集中力を保つため各車種の組み合わせにおける測定回数は2回もしくは4回に限った。70 mおよび116 mのブレーキエリアをもつコースでそれぞれ半数ずつ測定を行った。なおドライバーはB, C, Tの後の数字(1または2)と合わせて区別する。すなわち各車種ごとに2人ずつ計6名でそれぞれ担当の車両のみを運転した。

3. 車列変化に伴う運転特徴の変化

(1) 検討する運転特徴の導入

本節では、各車列における運転挙動の変化を捉えるために、速度、加速度、加加速度の特徴量を導入する。

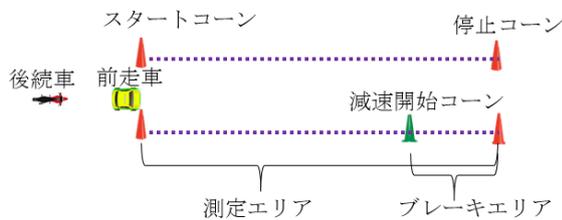


図-1 測定コースの概念図。前走車はスタートコーンより発進し、減速開始コーンから制動動作を行う

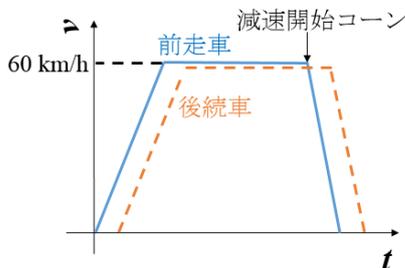


図-2 前走車と後続車の速度プロフィール。後続車は前走車に追従するように指示したのみである

表-2に本研究で検討した運転特徴を示す。 V_{max} , a_{max} , a_{min} はそれぞれ後続車の最高速度、および一測定で観測される1回ずつの加減速の最大値である。また、 j_{max_acc} は加速時の最大加加速度を示し、アクセルペダル操作の素早さの指標として用いた。一方 j_{min_dec} は減速時の最小加加速度であり、ブレーキペダル操作の素早さの指標とした。 SDV は速度差すなわち車間距離変化の絶対値を試験時間にわたり積分した数値である。前走車の動きに対し機敏に追従が行われない場合、 SDV が増加していくことから、前走車との車間距離に対する鈍感さとして用いた。

(2) 各車種の組み合わせにおける運転特徴

本節では3-(1)節で導入した運転特徴を各車種の組み合わせにおいて比較する。図-3には後続車の最高速度である V_{max} を各車種の組み合わせ別にプロットした。上下のどちらの図も後続車の V_{max} である。すなわち例えばB1-C2の組み合わせにおける V_{max} は上図の左側中央のバーと下図中央左側のバーで示している。丸は各3つのバーの平均である。また下図には三角にて、前走車の最大速度を記している。これと丸を比較することで前走車と後続車の最大速度の比較を行う。上図を見ると、後続車ごと

表-1 試験車両の組み合わせと、測定回数。

後続車	前走車	測定回数
B1	B2	2
	C2	2
	T2	2
C1	B2	2
	C2	2
	T2	2
T1	B2	4
	C2	4
	T2	4

表-2 運転特徴とその意味。

記号	意味
V_{max}	最高速度
a_{max}	最大加速度
a_{min}	最小加速度
j_{max_acc}	加速側最大加加速度
j_{min_dec}	減速側最小加加速度
SDV	$\int_{T_{start}}^{T_{end}} \Delta v dt$ 車間変化の積分

に明確な傾向の差は見られない。しかし下図からは前走車がB2の場合、 V_{max} が他と比べ小さくなっている様子が分かる。まず三角で示した前走車の最大速度がほぼ同じ傾向であることから、自由走行状態でバイクの最高速度が小さかったことが分かる。また、上図の後続車ごとの特性に差が見られないことから、追従走行にある後続車の V_{max} は後続車自身の車種よりも、前走車の最高速に影響を受けている可能性が高い。

続いて図-4および図-5に後続車の最大、最小加速度である a_{max} 、 a_{min} を示す。図-3に示した V_{max} とは異なり、上図に示された、全前走車平均を取った a_{max} の特性は、明確に後続車がC1である場合に最大、最小値をもっている。一方下図三角からも、前走車が自由走行状態でもC2の場合最も大きな加減速を行ったことが分かる。以上より、そもそも車両単独の特性として、Cは大きな加

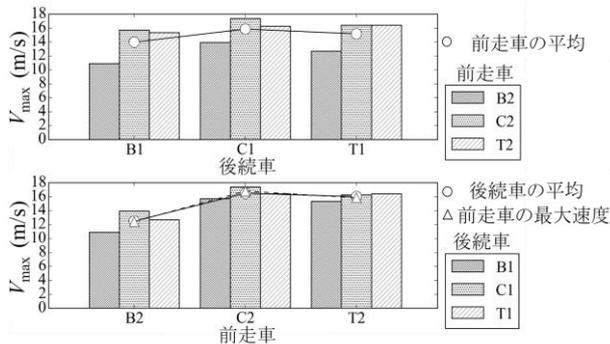


図-3 各車種の組み合わせにおける、後続車の V_{max}

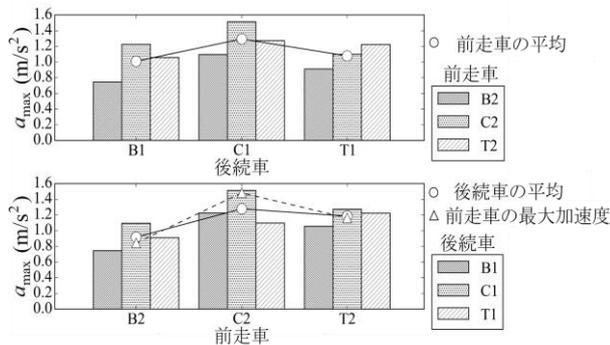


図-4 各車種の組み合わせにおける、後続車の a_{max}

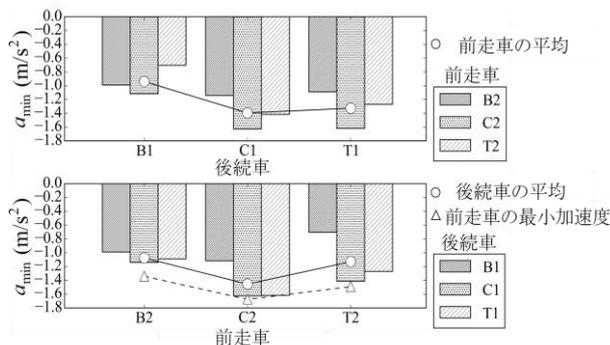


図-5 各車種の組み合わせにおける、後続車の a_{min}

減速をしがちであり、BおよびTはそれに比べ小さな加減速をすると考えられる。また、下図において a_{max} 、 a_{min} が前走車の最大最小加速度と同様の傾向であることから、後続車の加速度は前走車の加速度にも影響されることが分かる。

図-6および図-7に後続車の最大、最小加加速度である j_{max_acc} 、 j_{min_dec} を示す。まずアクセル操作の素早さの指標である j_{max_acc} に注目すると、上図からは a_{max} 同様後続車がC1の場合の値が大きいことが分かる。また下図からは前走車の最大加加速度が、最大加加速度と同様C2の場合大きいことが分かる。ここから、車両単独の特性として、最大加加速度同様Cが最も大きな加加速度を取ると言える。一方、下図の丸で示した各前走車に対する後続車の最大加加速度 j_{max_acc} と、三角で記した各前走車自身の最大加加速度では傾向が異なる。従って、前走車のアクセル操作素早さは特に後続車のそれに影響しないことが示唆され、前走車車種が大きくなるに従って後続車の操作が素早くなることが示唆される。

次にブレーキ操作の素早さの指標である j_{min_dec} に注目すると、図-7からは上図丸と下図三角で示した前走車と後続車の特性が異なることから、ブレーキ操作の素早さに車種毎固有の特性があるとは言えない。また、下図丸および三角の傾向も異なることから、 j_{max_acc} 同様前走

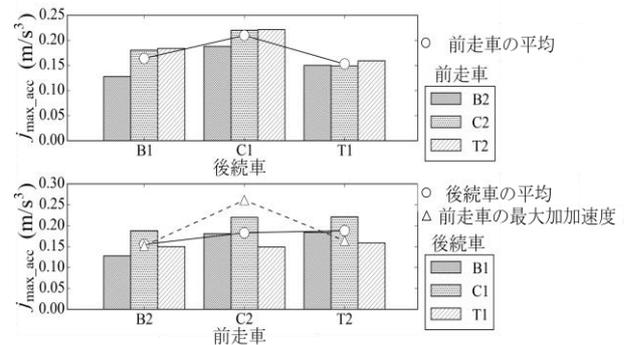


図-6 各車種の組み合わせにおける、後続車の j_{max_acc}

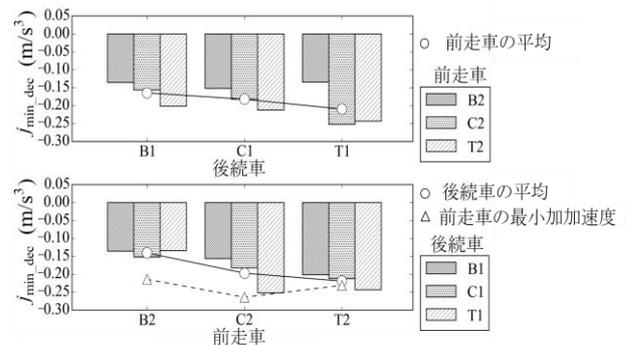


図-7 各車種の組み合わせにおける、後続車の j_{min_dec}

車のブレーキ操作素早さは、後続車のそれに影響しないと思われる。一方前走車車種が大きくなるに従い、ブレーキ操作は素早くなっていると考えられる。

最後に、図-8に車間変化の時間積分であるSDVを車種の組み合わせ毎に示す。SDVは前走車との車間距離変化に対する鈍感さと考えることができる。上図、下図ともに丸で示した平均値は a_{max} 、 a_{min} 同様、後続車がC1の場合、及びC2が前走車の場合大きな値をもっている。このことから、加速度の大きさが大きい場合、追従挙動において車間距離の変化に対して鈍感になる傾向がある可能性があると言える。

7. 結論

本研究は3車種以上からなる混合交通流の、車列順を考慮したmicroscopicな解析の基礎として、バイク、乗用車、トラックから選ばれた2台の車列における、後続車の運転挙動変化を調べた。測定はテストコースで速度指定を与えながら行い、GPSデータから速度、加速度、加加速度データを得た。

解析より、後続車の最大速度については、前走車のそ

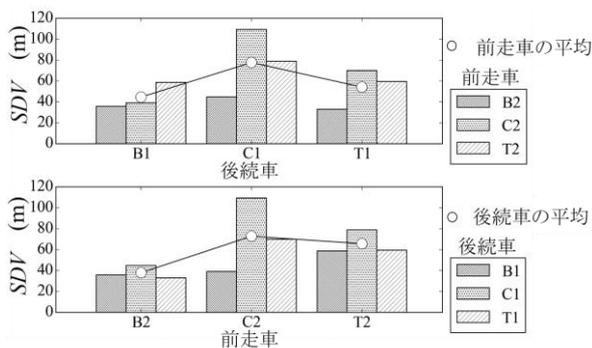


図-8 各車種の組み合わせにおけるSDV

れのみが影響することが分かった。また後続車の最大、最小加速度は基本的に乗用車の値が大きい。かつ前走車の加速度が大きい場合後続車の加速度も大きくなると考えられる。加えて、アクセル操作の素早さは、後続車自身の車種および前走車の車種で決定され、ブレーキ操作の素早さは前走車車種で決定されると言える。更に、車間距離に対する感度は、加速度大きさが大きくなるに従い、低くなっている。

今後、混合交通流の解析にあたりmicroscopicなドライバーモデルを用いる場合には、速度、加速度、加加速度および車間距離への感度に影響を及ぼすパラメータ毎に、後続車単独の特性のみならず前走車の運転や車種からも受ける影響を考慮する必要があると言えよう。

謝辞：本研究はJSPS科研費25287026、15K17583の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) Hsu, T. P., Ahmad, F.M.S. and X.D. Nguyen. : A comparison study on motorcycle traffic development in some asian countries—case of Taiwan, Malaysia and Vietnam, *Technical Report*, Institute of Civil Engineering National Taiwan University, 2003.
- 2) Mason, A. D., Anthony, D. and Andrew, A. W. : Car-following model of multispecies systems of road traffic, *Physical Review E*, 55.3, 2203, 1997.
- 3) Wong, K. I. and Lee, T. C. : Investigating the Heterogeneity in Driving Behavior of Powered Two-Wheelers under Mixed Traffic Flow, *Transportation Research Board 94th Annual Meeting*, No. 15-1165, 2015.
- 4) Yang, D., Jin, J., Ran, B., Pu, Y., and Yang, F. : Modeling and analysis of car-truck heterogeneous traffic flow based on intelligent driver car-following model, *Transportation Research Board 92nd Annual Meeting*, No. 13-2358, 2013.

(2016.7.29受付)

EFFECT ON DRIVING CHARACTERISTICS OF A FOLLOWER FROM CHANGE OF VEHICLE ORDER IN A PLATOON

Akihito NAGAHAMA, Daichi YANAGISAWA and Katsuhiko NISHINARI

Analysis of “mixed-traffic” is becoming important to solve and avoid serious vehicle traffic congestions in the world. In this study, we investigated effects of orders of vehicles in a platoon composed of two vehicles selected from motor-cycles, normal passenger cars and trucks on a driving characteristics of a follower. From trajectories measured in a test course, we concluded that the maximum velocity of a follower would be affected only from the maximum velocity of a leader. On the other hand, follower characteristics of jerk in acceleration seem to be affected from vehicle types of the follower itself and the leader. Follower characteristics of jerk in deceleration seem to be only affected from the follower type. In addition, we found that both the follower type and the leader type would affect on sensitivity toward headway distance change as well as characteristics of acceleration of the follower.