

交通流の安定化を目指したブレーキランプ制御に関する研究

A study on the brake lamp control system for stabilizing traffic flow

山村 啓一*

Keiichi YAMAMURA

*交通マネジメント工学講座 交通情報工学分野

1. はじめに

交通渋滞とは、「交通容量上のボトルネックにその地点の交通容量を超える交通需要が流入しようとするときに、ボトルネックを先頭にしてその上流区間に生じる交通流率が低下した状態」と定義される。しかしながら、同一車両密度や台数の交通状態であっても、交通渋滞に移行する場合と移行しない場合が存在することが知られている。これは、個々の車両の走行挙動、特に追従時の挙動が、交通流に影響を与えており、交通流が不安定になることに起因している¹⁾。追従走行時においては、これまで車両挙動や道路勾配を対象にその交通流の安定性を捉える研究が行なわれてきていたが、本研究では、前方車両のブレーキランプの点灯に着目する。具体的には、前方車両のブレーキランプの点灯が後続車両の追従挙動に影響を与えるとの仮定のもと、ブレーキランプの点灯方法を制御することで交通流の安定化を目指す。ひいては交通渋滞の削減ができるのではないかと考えている。

そこで本研究では、新たなブレーキランプ制御方法により交通流が安定化に寄与することを示すために、ドライビングシミュレータ(以下DSと呼称)による実験を通じて、ブレーキランプ点灯制御による追従挙動の分析、追従モデルの構築とその検証、交通流シミュレーションによるブレーキランプ点灯制御の影響分析を行う。

2. DS実験概要

DS実験の目的は、ブレーキランプの点灯状態の異なる車両を配置・走行させた際の後続車両のドライバーの車両挙動のデータ収集である。後続車両の挙動に影響を与えると考えられるブレーキランプ点灯状態、前方車減速時加速度、初期走行速度、初期車頭時間を実験因子として、表1のように設定した。

なお、実験は被験者29名に対し高速道路を模した勾配のない直線道路を対象に走行途中で減速する1台の前方車両を追従させるというものである。一回の走行で前方車両は走行開始約20秒後に6秒間の減速を行い、その後加速を行う。追い越しや車線変更を禁止とし、道路標識や情報提供板なども設置していない。実験因子はL18直交表に割り付け、1人あたり18回繰り返して実験を行う。

表1 実験因子数値設定

	ブレーキランプ	加速度(m/s ²)	速度(km/h)	車頭時間(s)
水準1	点灯	-0.2	40	1.3
水準2	非点灯	-1.0	70	1.9
水準3		-1.8	100	2.5

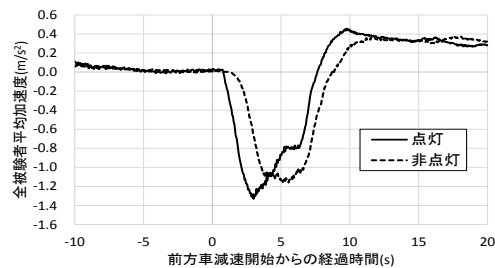


図1 加速度平均値の時間推移 (全被験者)

3. ブレーキランプ点灯制御による追従挙動分析

全被験者の加速度平均値の時間推移をブレーキランプ点灯・非点灯時で比較したものが図1である。この図では、前方車両が減速を開始する時刻を0秒とし、その基準からの経過時間を横軸とした。

ブレーキランプ点灯時の加速度の平均値の推移の方が、非点灯時と比較して早い段階で減速が開始されている傾向が見られる。加速度の平均値における最小値、最大値の絶対値(グラフの振幅)は点灯時のほうが僅かながら大きな値となっていることが確認できる。この結果は、前方車両のブレーキランプ点灯が後続車両に影響を与えている可能性を示唆している。

4. ブレーキランプ点灯状態を考慮した追従モデルの構築と検証

前章で示したブレーキランプ点灯状態による車両挙動の違いを受けて、本章では追従モデルを構築し、具体的に追従挙動の違いを表現する。本研究では、式(1)に示すHelly²⁾の線形追従モデルを利用する。

$$\ddot{x}_{n+1}(t+T) = \lambda[\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)] + C[x_n(t) - x_{n+1}(t) - D] \quad \text{式(1)}$$

$\ddot{x}_{n+1}(t+T)$: 追従車両の加速度(m/s²), $\dot{x}_n(t)$: 前方車両の速度(m/s),

$\dot{x}_{n+1}(t)$: 追従車両の速度(m/s), $x_n(t)$: 前方車両の位置(m),

$x_{n+1}(t)$: 追従車両の位置(m), D : 希望車間,

λ : 相対速度感度, C : 希望車間感度, T : 反応遅れ時間(sec)

このモデルを、前方車両が減速している期間、加速している期間の 2 つの走行様態別、さらにブレーキランプ点灯有無別の計 4 つのモデルとして、全ての被験者に対しパラメータの推定を行った。

図 2 に反応遅れ時間 T 、相対速度感度 λ の推定結果の平均値を示す。反応遅れ時間について、前方車両減速期間のブレーキランプ点灯時は、非点灯時と比較して短く、加速期間では大きな差が生じていない。相対速度感度 λ について、減速期間のブレーキランプ点灯時は非点灯時と比較して値が僅かに大きく、加速期間では、大きな差は確認できなかった。

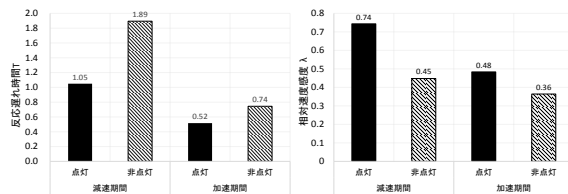


図 2 パラメータ T , λ の推定結果平均値

5. 追従モデルを用いたシミュレーションによるブレーキランプ点灯制御の影響分析

第 4 章で推定した追従モデルを用いた交通流シミュレーションにより、ブレーキランプ点灯による後続車両の追従挙動の変化が交通流に対してどのように影響を与えるのかを分析する。交通流シミュレーション実施にあたって、施策ケースとして表 2 に示す 3 つのブレーキランプの点灯制御方法を設定した。

表 2 各施策のブレーキランプの点灯制御

施策	制御方法	期待される結果
施策なし	フットブレーキにより点灯。高い速度帯では大きな減速度で点灯し、低い速度帯では小さな減速度でも点灯する	
施策 1	前方車両のブレーキランプ点灯を検知して自分自身のブレーキランプが点灯するような機構を車両に搭載	ブレーキランプ点灯機会の増加によって反応遅れ時間を短縮し交通流が安定化
施策 2	渋滞発生地点のさらに上流地点で強制的なブレーキランプ点灯を行う機構を車両に搭載	ブレーキランプ点灯が車間距離を広げる効果を利用し、ボトルネックに高密度の車群が流入するのを緩和し渋滞延伸を抑制

表 3 施策実施車混入率別の 1,500m 地点での流率改善率

混入率	施策なし		施策 1		施策 2	
	流率 (pcu/h)	改善率	流率 (pcu/h)	改善率	流率 (pcu/h)	改善率
100%	1043		1,256	20.4%	1,363	30.7%
50%			1,082	3.7%	1,325	27.0%
33%			1,059	1.5%	1,363	30.7%
20%			1,054	1.1%	1,161	11.3%

図 3 に施策実施車混入率 33% 時のシミュレーション結果 (time-space 図及び各地点での交通流率) を示す。time-space 図から、「施策なし」では減速波が増幅伝播し、大規模な交通渋滞が発生している様子が確認できる。「施策 1」においても、「施策なし」と同程度の交通渋滞が発生している。一方で、「施策 2」では、交通渋滞延伸が緩和されている様子が確認できる。高密度の車群の流入が、上流地点でのブレーキランプ点灯制御により緩和されているものと考えられる。

6. おわりに

本研究では、DS 実験を通じて、前方車両のブレーキランプの点灯が、後続車両の追従挙動に影響を与えることを明らかにした。その上で、前方車両の挙動及びブレーキランプの点灯状態別の追従モデルを構築し、追従挙動の差異を検証した。さらに構築した追従モデルを用いた交通流シミュレーションにより施策評価を行った。ボトルネック上流でブレーキランプを強制的に点灯させる「施策 2」は、交通流率の改善効果が高く、施策実施車混入率が低い場合でもその効果が発現することを示した。

表 3 に施策実施車混入率別の 1,500m 地点での流率改善率を示す。「施策 1」において、混入率 100% では改善率が 20% である。しかし混入率 50% では約 4% に留まり、混入率 33% や 20% では交通流率の改善効果はほぼ確認できない。一方で、「施策 2」では、混入率を 50%、33% と低下させた場合でも、交通流率は約 30% が改善されている。混入率 20% の場合においても、改善率が約 10% と、少々の効果が見られた。

本研究の成果は、ブレーキランプという既存の装置を制御・利用することで渋滞を緩和するという新たな知見を加えるものであり、交通流安定化を目指した今後のより精緻な分析・研究が望まれると考える。

分析結果をまとめると、ボトルネック上流でブレーキランプを強制的に点灯させる「施策 2」において、交通流率の改善効果が高く、施策実施車混入率が低い場合でもその効果が認められた。

- 1) 飯田恭敬, 北村隆一: 交通工学, pp. 154-160, オーム社, 2008
- 2) Helly, W.: Simulation of Bottlenecks in Single-Lane Traffic Flow, Proc. of the International Symposium on Theory of Traffic Flow (GM), pp. 207-238, 1959

修士論文指導教員

宇野伸宏准教授, Jan-Dirk Schmoeker 准教授,
中村俊之助教, 山崎浩気助教

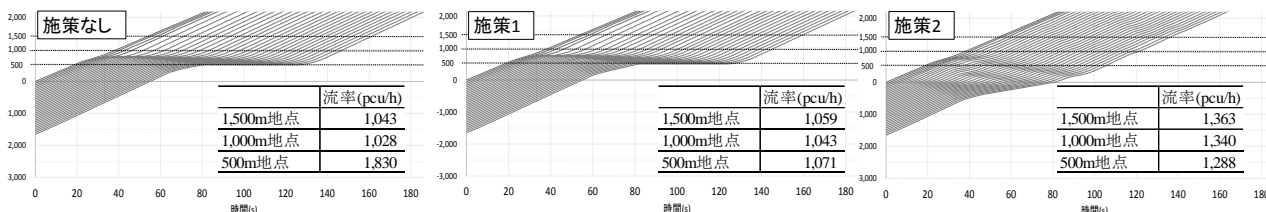


図 3 施策実施車混入率 33% 時シミュレーション結果: time-space 図及び各地点での交通流率