

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：22604

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14741

研究課題名(和文) 戦略的車線変更意思決定メカニズムを考慮した交通流解析

研究課題名(英文) Traffic flow analysis considering drivers' strategic lane changing intention

研究代表者

柳原 正実 (Yanagihara, Masami)

首都大学東京・都市環境科学研究科・助教

研究者番号：20739560

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：追い越しに伴う車線変更をドライビングシミュレータ実験において観測する手段を構築し実験を行い、車線変更前後のストレスの変化やドライバーの意図を詳細に把握できた。車線変更時のストレスは特に車線変更完了時の車両の接近や車線変更を判断した場合に生じる可能性が高いこと、ストレス指標から車線変更を意図している状況の推察ができる可能性が示唆された。また、ドライバーの車線変更に対する考え方を、少数のパラメータの変化で表すモデルを用いてシミュレーション分析した結果、車線変更をしようとする意図を適切に抑制することが効率的な交通流につながることを示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

車線変更時のストレスと意図の把握により、車線変更モデルを構築するためのドライバーの意思決定過程をより詳細に把握した点において学術的な意義があると考えられる。また、客観的なストレス指標を用いたヒヤリハットなどに関する、より正確な危険性の把握や、車線変更を意図している状況の推察による高度な運転のコントロールに、本研究の成果を応用できると考えられる点、車線変更に関して、より円滑な交通を実現するための指針となり得る成果を得た点に社会的な意義があると考えられる。

研究成果の概要(英文)：We constructed a method to observe the lane change due to overtaking in a driving simulator experiment, and conducted an experiment to understand the changes in the driver's stress and intention before and after the lane change in detail. It is suggested that stress when changing lanes is likely to occur especially when a vehicle approaching or when lane change is decided. It is possible to infer the situation in which lane change is intended from the stress index.

In addition, as a result of simulation analysis of the driver's intention about lane change using a model that represents changes in a few parameters, it was suggested that appropriately suppressing the intention to change lanes would lead to efficient traffic flow.

研究分野：交通工学

キーワード：交通流 車線変更 ドライビングシミュレータ ミクロ交通シミュレーション

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

一般的に高速道路における渋滞時には追い越し車線の利用率が増加することが知られており、この車線利用率の偏りをなくすことで道路の交通容量が改善されると考えられていた。また、車線変更自体は後続車両の急減速を誘発し、交通事故の間接的な要因にもなりうる。加えて、世界的に自動運転車両の開発が進んでおり、日本でもオートクルーズコントロール (ACC) などの運転支援システムが普及しつつある中で、ドライバーの車線変更に関する意思決定にも変化が生じている可能性が高いと考えられた。したがって、複数車線における交通流を効率的に制御する必要に迫られる可能性が高く、車線運用のための基礎的な知見を蓄積すること、交通流・車線利用率・車線変更挙動の関係を明らかにすることが望まれていると考えられ、さらに車線変更挙動は交通状況・各ドライバーの意思決定メカニズムに大きく左右されるため、ドライバーの特性や運転時の状態を考慮した解析が重要であるといえた。

車両間の距離と車両の速度との関係に焦点を当てた研究よりも、車線変更を扱う研究は比較的少ない。また、車線利用率を考慮した交通流モデルや、実データに基づいた車線変更挙動を解析した研究は存在していたが、実際の個々のドライバーの意思決定と全体の交通流を関連付けた研究は少なかった。その要因の一つとして、車線変更モデルの精度や性能の検証を行うためのデータなどに制約があった。例えば、古くから広く利用されている車両感知器の情報では、車線変更の実態をとらえきれない。研究利用も普及しつつある、GPS プローブカーから得られる車両軌跡データ、高所からのビデオ観測画像を処理して得られる詳細な車両軌跡データに関してもデータの精度に加え、ドライバーの特性や運転時の状態に強く依存した車線変更に関する意思決定過程が把握できない問題点があった。特に、車線変更に関する意思決定は隣接した車線への移動可否という瞬間的な判断の他に、前方車両を追い抜くタイミングの決定など数十秒～数分といった比較的長期にわたる意思決定が行われ、この長期にわたる意思決定の観測も課題となっていた。

2. 研究の目的

本研究では、車線変更の必要性と可能性を考慮した戦略的な車線変更挙動のミクロな視点での運転中のドライバーの生体情報や意識と車両挙動を結びつけた解析を行い、マクロな視点での車線変更と交通流との関係の把握を行うことを目的とした。

具体的には、ドライビングシミュレータを用いた実験において自然な車線変更を行うように誘導する手法を開発し、運転中の被験者の生体情報の観測やドライバーの運転操作に関する意識の調査を行い、車両挙動と合わせた解析を行うことでドライバーの意思決定構造についての知見を得る。また、数値シミュレーションに応用することで交通流への車線変更挙動の影響を、車線変更にもなう交通のコンフリクトによる負の効果と追越しを許容することによる正の効果のトレードオフの観点から把握する。

3. 研究の方法

本研究では、ドライビングシミュレータ (DS) を用いた走行実験と交通マイクロシミュレーションの構築と結果の解析を通して、交通流全体に個々の車両の車線変更が与える影響についての知見を得る。

まず、文献調査などを通してドライビングシミュレータ中で車線変更を観測するための手法を構築した。加えて実験中に心拍や呼吸数などの生体情報を取得したうえで、車線変更や意思決定に関わる生体情報の項目について分析した。また、実験の被験者の運転操作に関する意思決定過程を把握するために、事後的な調査を行いその結果について考察した。これらのデータ収集を通して車線変更実態の把握を行った。

一方で、分析用に開発したマイクロ交通シミュレーションを用いた交通状態と車線変更が観測される頻度などの比較分析を行った。その中で、車線変更の必要性と可能性を考慮するために該当するパラメータの感度などに着目した考察を行った。

4. 研究成果

(1) ドライビングシミュレータを用いた走行実験の概要と結果

(1.1) 車線変更を観測するための手法の開発

本研究では意図が多く生じると考えられる車線変更をできるだけ多く観測するために、条件を詳細に設定できる DS を用いて模擬走行する実験を行った。車線変更は、ドライバーが追い越しを決断する主要因となる前方車両の速度を調整することで誘発させた。具体的には運転車両と 3 台の前方車両との速度差を極力同程度にし、追従状態にしたのち、3 台の前方車両の速度を 500m 間隔で 5km/h ずつ減速するように設定した。この設定により、被験者は前方車両が遅くなりすぎる前に追い越しをせざるを得ない状況となるため、対象とした実験の被験者は 20 代から 40 代の男性 30 名全員の実験において車線変更の観測を行うことができた。

(1.2) 生体情報の概要と分析結果

本研究で観測した生体情報は皮膚温度、発汗、呼吸数、心拍および肩部筋電情報の 5 つの指標である。発汗・呼吸数・心拍 (心電) は緊張時やストレスを感じた時などの交感神経が活性化すると値が上昇する傾向があり、皮膚温度は値が低下する傾向があることが知られ

ており、実験結果より、いずれの指標も交感神経・副交感神経の変化を追っており同様の変化がみられ、車線変更前後での値の変化が多く見られた。図1にその一例を示す。

本研究では、これら複数ある指標に加え、心電のデータをリアルタイムに評価することで、交感神経または副交感神経が活性化するタイミングの把握を試みた。一般的には心電から交感神経または副交感神経の活性・不活性を把握する指標として、心拍感覚 (RRI) の一定時間における変動情報が用いられる。

RRI の値を一定時間内で集計して得られるストレス指標である LP 面積について車線変更前後の変化を分析した。本研究ではリアルタイム性を重視して、この集計時間を 10 秒間とした。生体指標は特に個人間の差が大きいため、対数平均値を用いることでその変化過程を個人間バイアスの影響を受けずに評価することができた。その結果を図 2 に示す。図 2 には凡例順に 10 秒間の LP 面積、心拍数、呼吸数、発汗量、皮膚温度の集計値について車線変更時点を 0 として示している。いずれの指標も車線変更完了時点で比較的緊張状態にあることを示しており、特に小さいとストレスがかかっていることを示す指標である LP 面積をみると、車線変更が終わった後の時点で、ストレスがかかっていることが分かった。LP 面積の平均値の 10 秒間の変化量には有意な差が認められており、車線変更完了時に関して明らかなストレスの増大が認められた。ただし、LP 面積などの指標は 10 秒間 (該当時点前後 5 秒間) の RRI から求めた値であるため、どの時点のストレスが影響しているかをより慎重に評価する必要があると考えられる。また、車両が置かれた状況と LP 面積の多変量解析の結果、周囲の車両の接近がストレスの主要な要因であることが示唆された。

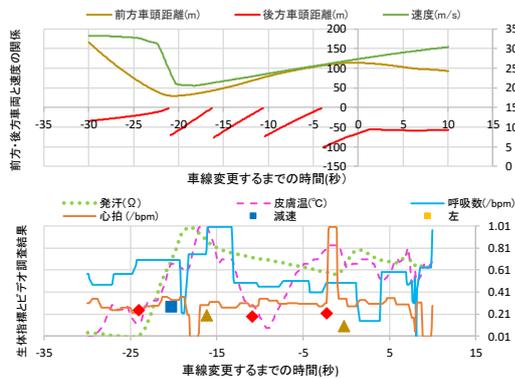


図 1 ある運転者の車の状況と生体反応

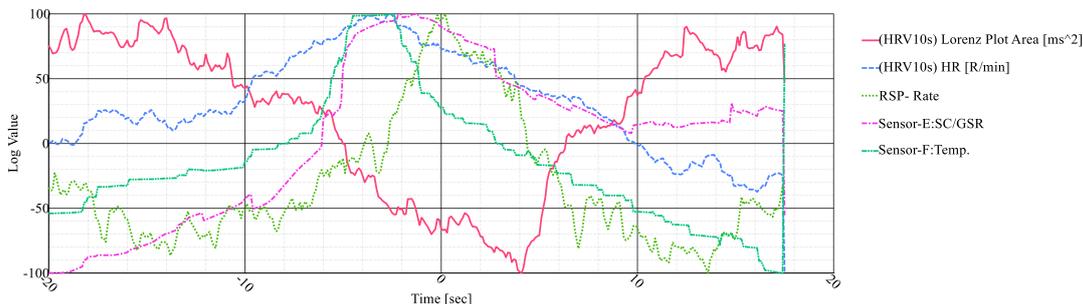


図 2 車線変更完了前後のストレス指標の対数平均値

(1.3) 運転操作に関する意思決定過程の把握

DS 実験では、走行実験直後に走行時のビデオ画像を再生しながらどのような走行を行おうとしていたかを打ち込み入力し、時系列で被験者の運転意図 (運転操作に関する意図) を把握するための調査を行った。その結果を図 1 に合わせて示している。この例を含む追い越し車線の高速な車両が存在する状況で、追い越しの為に車線変更をしたいという意図 (▲印) が観測された 5 件の例では、その 80% の場合において意図が観測される前後でストレスがかかっていることを示す生体情報が得られている。このことから生体情報の変化をとらえることで運転意図が変化していることを客観的に推測できる可能性が示唆された。

(2) ミクロ交通シミュレーションを用いた交通状態と車線変更の関係分析

(2.1) ミクロ交通シミュレーションの構築

車線変更と交通流の関係を把握するための手法として、少数のパラメータのみで動作するミクロ交通シミュレーションを構築した。当該シミュレーションにおける車線変更は表 1 に示す 6 つのパラメータのみで動作する。特に車線変更の頻度に関わる重要なパラメータは表 1 の第一パラメータのみであり、前方車両が低速で

表 1 車線変更に関するパラメータ

パラメーター	判断指標	設定値
希望走行速度との許容差 Δv [m/s]	希望走行速度とどのくらい外れているのか	0~15.30段階
追従車頭時間 t_h [s]	前方車両に追従しているかどうか	1.0,2.0,3.0
許容GAP前方ラグの車頭時間 t_f [s]	目的車線に前車との距離が十分であるかどうか	1.0,2.0,3.0
許容GAP後方ラグの車頭時間 t_b [s]	目的車線に後車との距離が十分であるかどうか	1.0,2.0,3.0
車線変更間隔時間 t_i [s]	車線変更行動の間に一定の時間が持たせるようにする	3
車線変更所要時間 t_c [s]	全ての車両が一定の時間をかけて車線変更を行う	4.6

走行する場合に追い越しをせず追従を許容できる範囲の速度差を示すパラメータである。

(2.2) 交通状態と車線変更の関係

車線変更の頻度と車両の密度、交通流率の関係について、シミュレーションを用いて分析した結果を図3に示す。これは、同一の条件下で定常流を生成した場合の交通流率を観測・集計した結果である。考察を容易にするため走行モデルでは減速波の影響を無視し、追従時は常に車頭時間2秒で走行するという仮定を置いている。車両の密度が同一の場合、流率が最大となる車線変更頻度パラメータが存在し、密度が大きくなるほど、車線変更を抑制する状況で交通流率が最も大きく効率的な流れになることを示した。さらに図4に追越車線の密度の全体に対する比率を示した。上述した流率が最大となる場合の追越車線の密度の全体に対する比率は多くの条件下で40%程度であることがわかった。この結果より追越車線の密度をある程度低く保つことが、効率的な交通流を実現するために必要な条件であることが示唆された。

また、加減速影響および、減速波の影響を考慮した上での評価では、車線変更に対する、速度の変化の影響が大きくなり、車線変更パラメータ自体の感度は小さくなり、分析の枠組みに課題を残した。

(3) 結果の総括と課題

研究全体を通して車線変更に伴うストレスなどの指標の実態について、及び、効率的な車線変更を行う指針についての結果を得た。

ドライビングシミュレータ実験において追い越しに伴う車線変更を観測する手段を構築し実験を行い、車線変更前後のストレスの変化やドライバーの意図を詳細に把握できた。車線変更時のストレスは特に車線変更完了時の車両の接近や車線変更を決断した場合に生じる可能性が高く、ストレス指標から車線変更を意図している状況の推察ができる可能性もあることが分かった。また、車線変更が決断される要因として車両の接近の影響を考慮する既存のモデルでは、間接的にドライバーの意図やストレスを反映しているといえる。

一方、ドライバーの車線変更に対する考え方を表すモデルを用いてシミュレーション分析した結果、ある程度、車線変更をしようとする意図を抑制することが効率的な交通流につながることを示唆された。

車線変更の意思決定過程の表層的な部分を、ストレス指標などを通して明らかにした一方で、個人間の違いや詳細な意図の把握にはまだ多くの課題が残る。また、効率的な車線変更を実現するためには、加減速に関する運転操作の影響も大きいと考えられ、これらを考慮するためには分析に導入するモデルなどに課題が残っている。

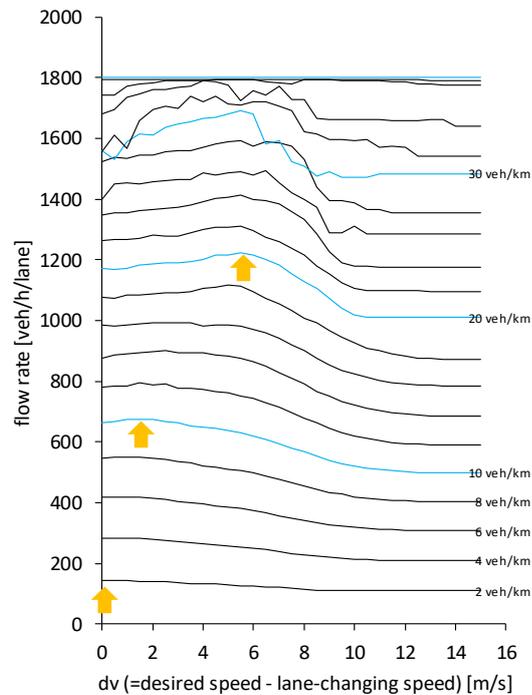


図3 車線変更パラメータと交通流率の関係
(速度標準偏差 2.5m/sec)

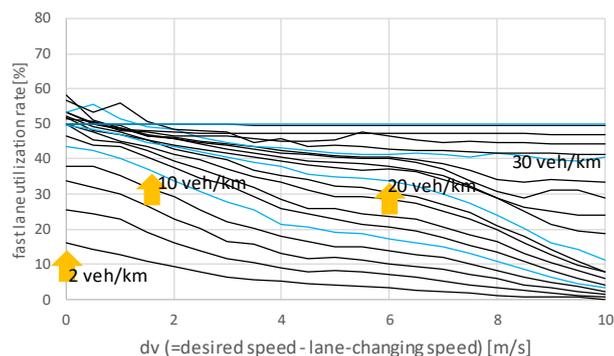


図4 車線変更パラメータと追越車線密度比率の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 柳原 正実、平木 賢太、小根山 裕之	4. 巻 6
2. 論文標題 走光型視線誘導システムによる追従挙動変化の交通流への影響分析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 交通工学論文集	6. 最初と最後の頁 A_55 ~ A_62
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.14954/jste.6.2_A_55	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Masami YANAGIHARA and Hiroyuki ONEYAMA
2. 発表標題 A SENSITIVITY ANALYSIS OF ACCELERATION OF VEHICLES CONSIDERING FOLLOWING STABILITY
3. 学会等名 The 24th International Conferences of Hong Kong Society for Transportation Studies（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柳原正実、平木賢太、小根山裕之
2. 発表標題 走光型視線誘導システムによる追従挙動変化の交通流への影響分析
3. 学会等名 第38回交通工学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 劉彬、柳原正実、小根山裕之
2. 発表標題 車線変更挙動と交通流の関係に関するシミュレーション分析
3. 学会等名 交通工学研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松山奈々海, 柳原正実, 小根山裕之
2. 発表標題 車線変更における追越車線後方車両加減速挙動の交通量への影響に関する分析
3. 学会等名 土木計画学研究発表会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	小根山 裕之 (Oneyama Hiroyuki)		
研究協力者	劉 彬 (Liu Bin)		
研究協力者	松山 奈々海 (Matsuyama Nanami)		
研究協力者	平木 賢太 (Hiraki Kenta)		