

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

松山 奈々海¹・柳原 正実²・小根山 裕之³

¹学生会員 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)
E-mail:matsuyama-nanami@ed.tmu.ac.jp

²正会員 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)
E-mail: yanagihara@tmu.ac.jp

³正会員 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)
E-mail: oneyama@tmu.ac.jp

交通量が高くなるにつれ追越車線への車線変更行動が頻発し、渋滞発生に至る。これは車線変更による追越車線後方車両の急減速が減速波の発生・伝播を引き起こしていることが要因である。一方、車線変更に関する既往研究において追越車線後方車の挙動については十分な知見が得られておらず、車線変更による減速波の発生・伝播についても明らかとなっていない。車線変更による交通量への影響を明示するうえではこれらの知見は重要となる。

本研究では車線変更による交通量への影響を明らかにするため、車線変更時の加減速挙動を考慮したモデルを構築し、ミクロ交通シミュレーションを用いて分析を行った。また、ミクロ交通シミュレーションの結果から車線変更時の加減速挙動と交通量低下の関係性を定量化することでその評価方法を示した。

Key Words : *driving behavior, simulation model, microscopic simulation*

1. はじめに

わが国の都市間高速道路における渋滞現象を明らかにするための方法の一つとして、運転挙動に着目したミクロ的な解析手法による分析が行われている。さらに、渋滞現象の要因となる運転挙動の中でも車線変更行動に関する分析が行われている。車線変更に着目する理由の一つとして車線変更車両が追越車線を走行する後方車両の急減速を誘発し、減速波の発生・伝播を引き起こして¹⁾交通量低下の原因となるためである。従って車線変更は交通量の変動に影響しており、この事象を解明するためには車線変更を受け入れる車両の挙動を分析する必要がある。しかし、車線変更挙動に関する既往研究²⁾³⁾などでは車線変更を実行する車両の挙動について着目している例が多い。また、これらの既往研究では車線変更自体を単純な選択行動として捉えているため、その選択が車両挙動及び加減速挙動に与える影響までは考慮されていない。このことから車線変更を受け入れる車両および追越車線を走行する後方車両の挙動については知見が乏しい。

一方、近年普及している自動運転システムやアシストシステムでは車両応答に対応するドライバの運転挙動を

考慮する必要があり、車線変更挙動についても重要な知見の一つとして注目されている。また、自動運転システムやアシストシステムの目的は事故と渋滞という自動車交通問題を解決し、自動車交通の最適化を図ることであるため、車線変更行動の制御をより効率的に行う方法を明らかにすることが求められている。よって、本研究で分析対象となる車線変更を受け入れる車両の挙動についても交通量の変動に関わるという点で重要な知見となり得る。

以上をふまえ、本研究では車線変更挙動における急減速から減速波の発生・伝播への影響について明らかにすることを目的とする。具体的には、車両の加減速挙動と渋滞の延伸を考慮した車両挙動モデルを用いる交通ミクロシミュレーションを実行し、交通量及び減速波への影響とモデル内のパラメータ値の関係性について考察した。

2. モデル化のアプローチ

(1) 車線変更モデルの枠組み

車線変更の現象自体は多くのシミュレーションモデルの中で瞬時に起こる現象として扱われているが、本研究

では車線を跨いでいる状態も考慮した車線変更モデルを構築した(図-1). これにより, 車両が時々刻々と移動していく過程から加減速挙動への影響を記述することが可能となる.

(2) 追従モデル

本シミュレーションモデルでは, 走行速度に応じた追従車頭距を与える関係(s-v関係, 図-2)を仮定する. ここでのs-v関係は各車両に個別に与えられ, 臨界車頭間隔 s^c , および希望走行速度 v^d で規定される. さらに臨界車頭間隔以上であれば希望走行速度で走行する折れ線状の関数となっている. また, s-v関係に従って追従モデルを考えるにあたり, q-k関係を考慮することで自由流, 渋滞流での追従挙動の変化を記述することができる.

上述したのs-v関係に関して, 全ての車両の車頭距離と走行速度が均一な状況にあると仮定すると, 図-3の右側の容量と基本飽和交通密度 K^j [台/m]を与えた一般的なq-k関係図が導かれる. 一方, 単純なs-v関係を仮定した車線変更挙動モデル⁴⁾では加減速挙動および渋滞延伸を考慮していないため, q-k関係図は図-3の左図になる.

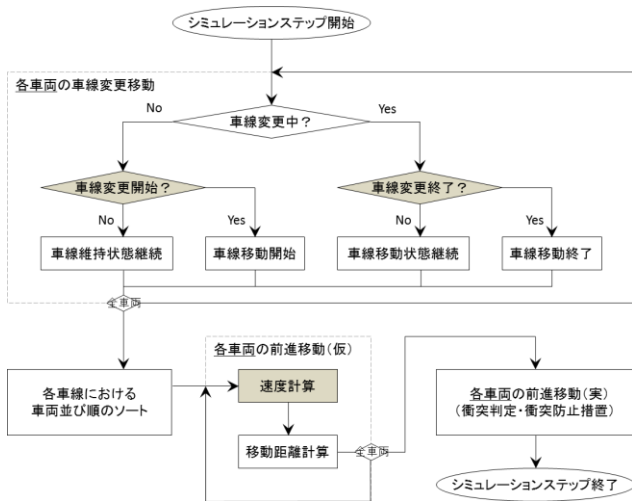


図-1 シミュレーションの枠組み

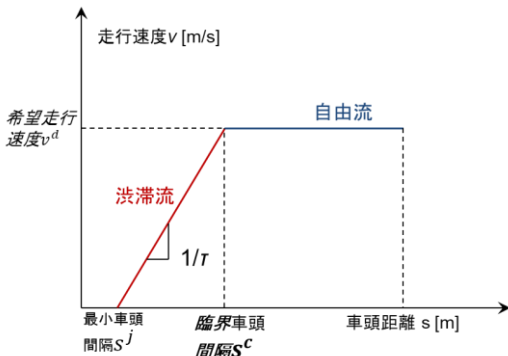


図-2 s-v関係図

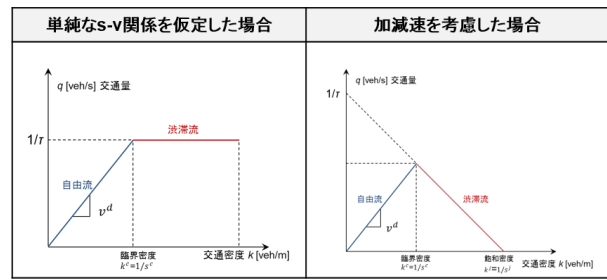


図-3 q-k関係の比較

本研究では本シミュレーションモデルに与えたs-v関係を図-3のq-k関係図に当てはめて考察することで, 交通量への影響に関する分析が容易となる.

(3) 追越車線後車両加減速挙動モデル

追越車線後車両加減速挙動を厳密に考慮するには車線変更が実行されてから時間ごとの速度変化まで記述する方法が必要となる. しかし, 実際にはさほど微細な速度調整を行っているわけではなく, 加減速度の値を連続的に扱う必要が必ずしもあるわけではない. そこで本研究ではある希望走行速度 v^d と前方車両の目視判断が可能となる判別可能車頭距離 s^i を基準に加減速度を区分し, 閾値 $(\pm a_0, +a_1, -a_2)$ を設定した. さらに, 追従車両が前方車両の挙動に反応しきれず衝突してしまう状況が生じてしまうため, この場合には図-4に示すように速度が0[m/s]になるまで急減速を生じさせ衝突を回避するように設定した.

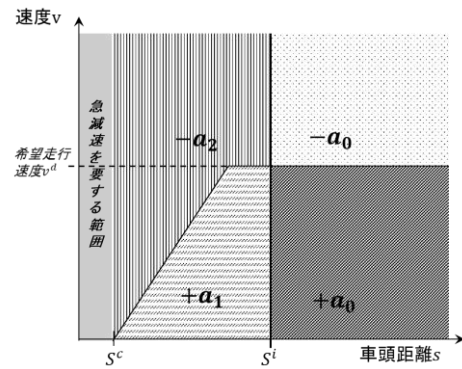


図-4 追越車線後車両加減速挙動モデル

(4) 車線変更モデル

従来のモデル⁴⁾における車線変更行動とは, 「要求」と「実行」といった2つの階層によって車線変更までの意思決定がなされるものであった. 車線変更モデルを適用する上で車線変更挙動に関する再現性を重視し, パラメータを複雑化させると, 交通量に影響を与える車線変更挙動を判断することが困難となる. よって, 従来のモデ

ル⁴⁾のように車線変更挙動について最低限を考慮した比較的単純なロジックによるモデルが適切であるとして図-5の意思決定プロセスを採用した。この意思決定プロセスは、現在速度 v と希望走行速度 v^d の差によって車線変更をするか否かを判断する。また、現在速度 v と希望走行速度 v^d との差を許容し得る間を車線維持速度幅 Δv と定義する。この車線維持速度幅 Δv を現在速度 v が下回ることが車線変更の要求につながる指標のひとつとなる。これについては、図-7のモデル内に図示する。

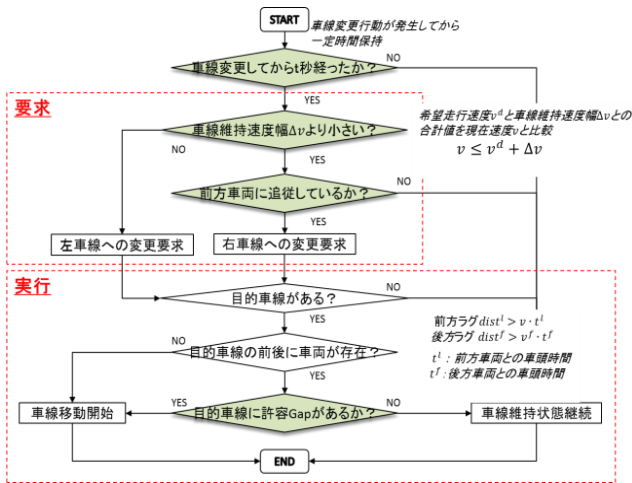


図-5 車線変更の意思決定プロセス

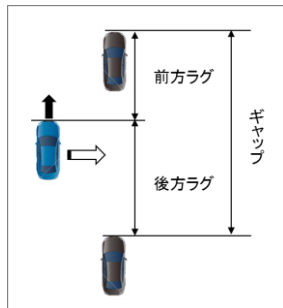


図-6 前方・後方ラグ イメージ

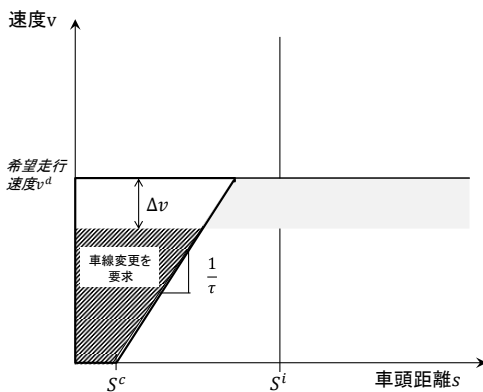


図-7 車線変更の要求に関する指標

また、車線変更の要求があった際の車線変更の可否について目的車線の前後方車両とのギャップを確認する。目的車線のギャップから車線変更が可能であると判断された場合には車線変更を実行する。前方車両、後方車両との位置関係については図-6に示す。

3. 交通マイクロシミュレーションの適用

本研究では交通マイクロシミュレーションを用いることで時々刻々と変化する車両挙動を再現した。また、シミュレーションでは構築したモデルのパラメータの値を変更してシミュレーション演算を繰り返すことによりその結果がどれだけ敏感であるかを検討し評価することができる。

(1) シミュレーションの設定値

車線変更を車線利用が均衡状態に至るまでの過程であるとし、2車線、全長5kmの環状道路において、車線利用が均衡した状態でシミュレーションを実行する。その中で車線利用を偏らせることで均衡状態に至るまで車線変更行動が発生するようにする。また、パラメータの設定値については表-1に示す。なお、希望走行速度以外のパラメータは全車両共通の値を設定した。

一方、希望走行速度分布は正規分布を仮定し、平均や分散を設定できるようにした。また、希望走行速度を正規分布とする際には完全な正規分布にすると極端に低い速度まで生成され、衝突につながるような希望走行速度も算出される。そのため、完全な正規分布の両極端な値を除き、正規分布中99%のデータを含む、標準偏差の6倍の区間のみを分析に用いた。さらに、速度分布系が交通密度にも影響する可能性があるとして交通密度を2~50 [台/km/lane] の25段階を設定した。

追越車線後方車両加減速挙動のパラメータ設定にあたり、現実的な交通環境を再現するため加減速度は実測値を基に設定を行った。使用する実測値は既往研究⁵⁾の走行実験データを用いる。走行実験は圏央道の一部である厚木PA~高尾山IC区間において2014年11月28日(金)~12月3日(水)、12月6日(土)~9日(火)の10日間の10:00~16:30の時間帯に実施された。実験時のデータは被験者の運転する追従車両および先行車両の車載装置から時刻歴の速度と車間距離を収集することによって得られている。このデータから加減速度を設定するにあたり、図-8の頻度分布を用いて加減速度のパラメータ設定を行った。

また、最低限保持すべき車頭距離を10mとし、その値以下になると衝突を回避するため速度0[m/s]になるまで急減速が生じるようにしている。

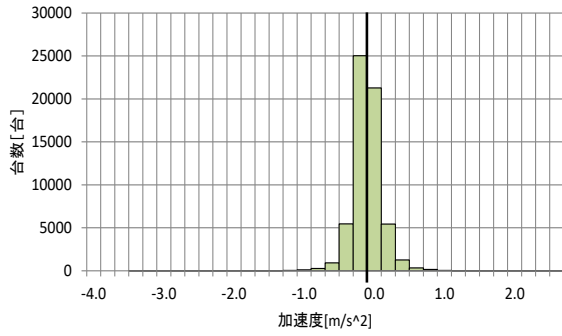


図-8 加速度の実測値

表-1 パラメータの設定値

対象	パラメータ	設定値	
車線変更挙動	車線維持速度幅 Δv	0~15[m/s] (0.5刻み)	
	反応時間 τ	2.0[s]	
	許容ギャップ前方ラグ車頭時間 t^l	2.0[s]	
	許容ギャップ後方ラグ車頭時間 t^f	2.0[s]	
	車線変更間隔時間 t^i	3.0[s]	
	判別可能車頭距離 s^l	200[m]	
加速度	$+a_0$	0.1[m/s ²]	
	$-a_0$	0.1[m/s ²]	
	$+a_1$	0.2[m/s ²]	
	$+a_2$	0.3[m/s ²]	
希望走行速度	希望走行速度分布 (正規分布)	平均	20[m/s]
		標準偏差	2.5[m/s]

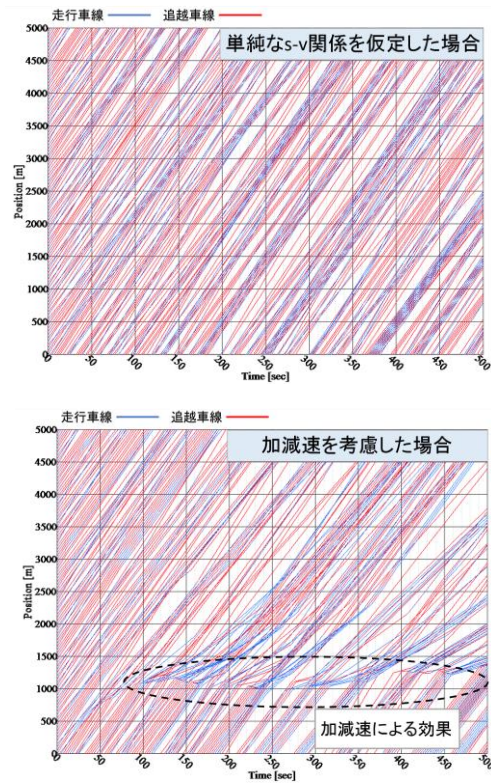


図-9 time-space 図

4. 分析結果

シミュレーションの出力を125秒毎に1レコードを出力し、追越車線後方車両加減速度に対して12500秒間の100個のデータを取得した。その結果について詳細に示す。

(1) 本モデルにおける加減速挙動の検証

本モデルと単純なs-v関係を考慮した場合⁴⁾のtime-space図を図-9に示す。各車両の走行軌跡を表す曲線の傾きから走行速度、また、隣接する曲線の間隔から車頭時間(横方向)や車頭距離(縦方向)を把握するとともに、加減速挙動の検証を行った。単純なs-v関係を考慮した場合は走行軌跡を表す曲線の傾きがほとんど変化せず、これに対し本モデルでは曲線の傾きの変化がみられる。このことから、本モデルから導入した加減速挙動による効果が確認された。また、図-9からもわかるように、加減速を考慮した場合の減速波の影響は時間が経過しても残り続ける傾向にあることがわかる。

(2) 車線維持速度幅 Δv と追越車線車線利用率の関係

図-10に車線維持速度幅 Δv と追越車線利用率の関係を交通密度が2~50[veh/km]の25段階別で表している。車線維持速度幅 Δv が小さいほど追越車線の車線利用率は

高くなり、交通密度が増加するにつれ同様の傾向が見られる。一方、交通密度が20~30[veh/km]では特にこの関係が顕著に見られ、それに対し交通密度が50[veh/km]に近づくにつれて車線利用率が50%付近から変動があまり見られない。従って、交通量レベルが低い状態でも車線維持速度幅 Δv が小さいことにより追越車線への車線変更が起こりやすくなるものと推察される。

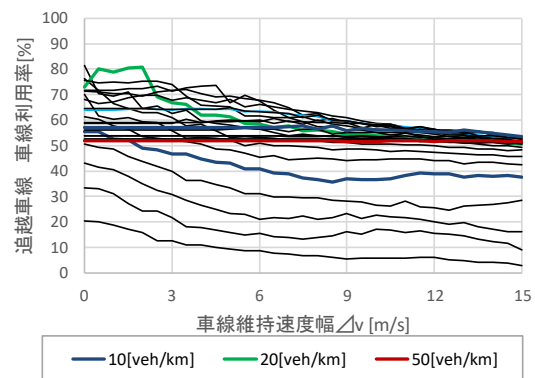


図-10 車線維持速度幅 Δv と追越車線車線利用率との関係

(3) 車線維持速度幅 Δv と車群構成率の関係

車線維持速度幅 Δv と追越・走行車線における車群構成率との関係を示す(図-11, 図-12)。尚、本研究では図-7における太線の枠内の状態にある車両を追従状態とし、

追従車が2台以上列なっている状態を「車群」と定義する。

また、追従状態の車両の占有率を車群構成率とする。走行車線では Δv の値が小さく、交通量レベルが低い場合(2~20[veh/km])では車群構成率が急上昇する。これは Δv の値が小さく車線変更が頻発することにより、密度が低い状態において、車群を構成する車両が極端に少なくなるためである。一方、追越車線では同等の傾向はみられない。また、両車線において、交通密度の増加に伴って車群構成率も増加し、車線維持速度幅 Δv が小さいほどこの変動は大きく見られる。言い換えると、低密度帯では車線維持速度幅 Δv の増加に伴い車群構成率が増加するが、高密度帯では逆に車群構成率が低下している。このことから、高密度帯であるほど車線変更による車群の長大化、すなわち減速波の延伸の影響が大きいことが示唆される。さらに、図-11、図-12を比較すると走行車線の車線変更による車群構成率への影響は追越車線より顕著にみられた。

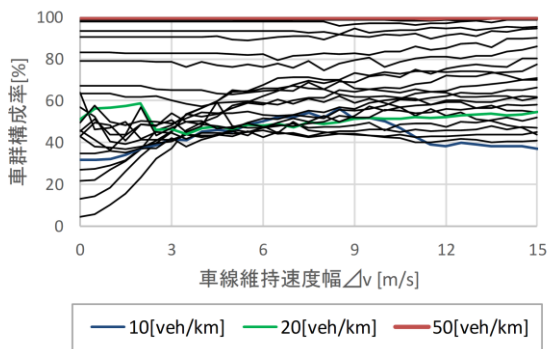


図-11 Δv と走行車線車群構成率の関係

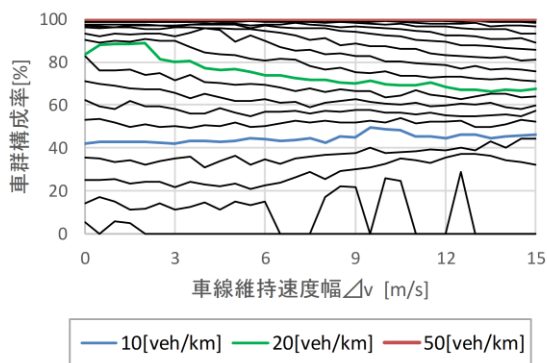


図-12 Δv と追越車線車群構成率の関係

(4) 車線維持速度幅 Δv における交通量の関係

車線維持速度幅 Δv と交通量の関係を交通密度が2~50[veh/km]の25段階別に示す(図-13)。図-13から交通密度10[veh/km]以上では Δv の変化に伴って交通量の変動がみられるが、10[veh/km]以下になるとほぼ一定となる。

これは交通量レベルが低い状態にあるとほぼ全ての車両は自由走行し、車線維持速度幅 Δv の大小に限らず全体の交通量が一定となるためである。また、交通量レベルが高くなると車頭距離が小さくなり、いずれも車線変更を実行することが困難となるため車線維持速度幅 Δv に関わらず交通量は一定となる。

また、単純なs-v関係を仮定した場合(図-13)と加減速を考慮した場合(図-14)の双方で、車線維持速度幅 Δv に対する交通量の値に極大値が存在し、交通量レベルが高くなるほど極大値を示す車線維持速度幅 Δv が大きくなっていることがわかる。これは交通量が大きくなるようにうまく車線変更させるときの条件が交通量レベルによって異なることを意味している。単純なs-v関係を仮定した場合と加減速を考慮した場合を比較すると、単純なs-v関係を仮定した場合は密度が高くなるまで、交通量の変動が小さいが、加減速を考慮した場合は密度が低い状態から交通量の変動がみられる。

さらに、交通量と密度の関係を図-15に示した。特に加減速を考慮した場合には、図-3で示したような極端な三角形のq-k関係が得られていない。これは、減速波の影響などが局地的であり、全体が一様な状態となっていないためであったと考えられる。

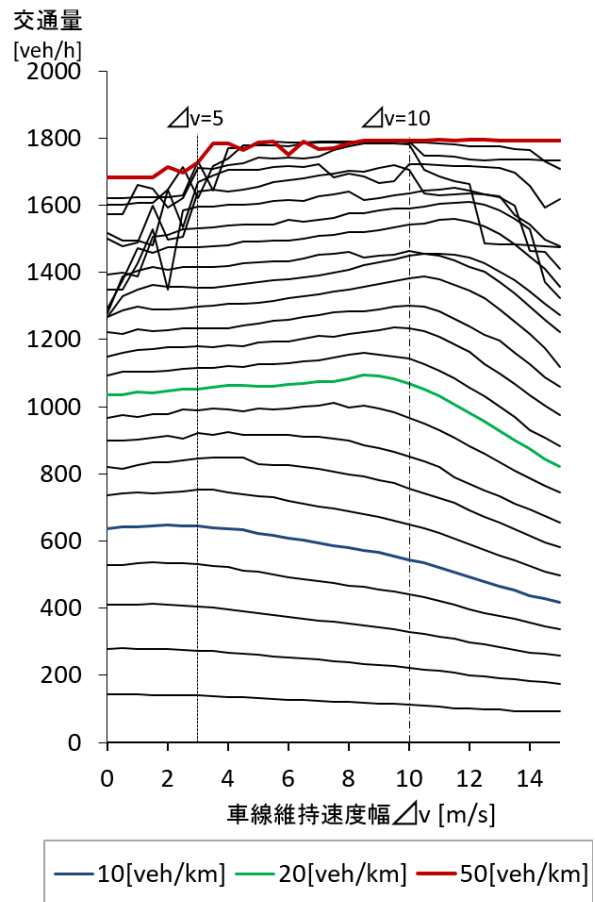


図-13 Δv と交通量の関係(単純なs-v関係を仮定した場合)

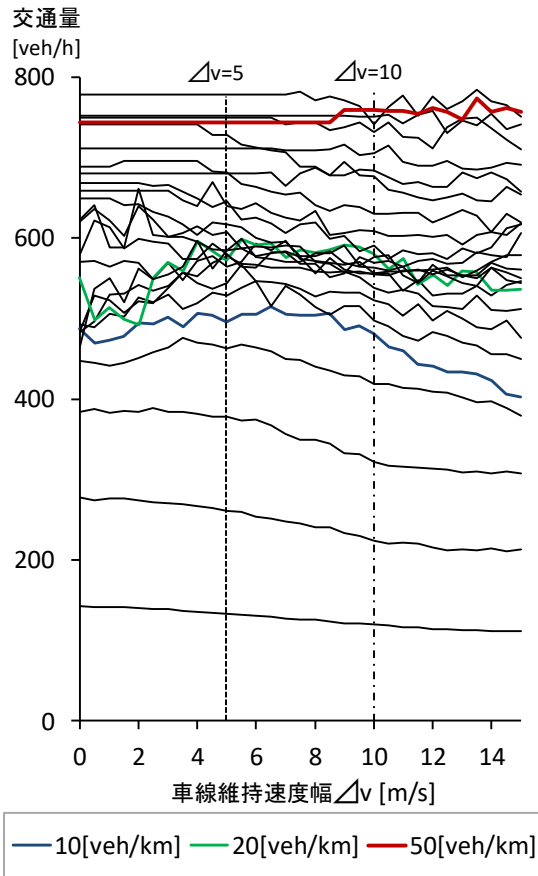


図-14 Δv と交通量の関係(加減速を考慮した場合)

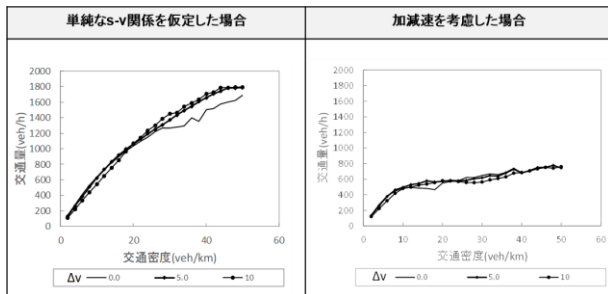


図-15 交通量と密度の関係

5. おわりに

本研究では加減速挙動を考慮した単純な交通ミクロシミュレーションを用いて、車線変更挙動における急減速から減速波の発生・伝播への影響について分析を行った。車線変更における加減速挙動の影響を車線利用率、車群構成率、さらに交通量に対して分析を行ったところ、車線変更への積極性を表す車線維持速度幅 Δv との関係

を確認した。今後は既存のパラメータ値を変更し、異なる交通状況での分析を行うことが課題となる。

謝辞：本研究はJSPS科研費・若手研究(B)「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」(研究代表者：柳原正実) 17K14741の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 越正毅, 桑原雅夫, 赤羽弘和: 高速道路のトンネル, サグにおける渋滞現象に関する研究, 土木学会論文集, No.458, pp.65-71, 1993.
- 2) 谷口知己, 塩見康博, 宇野伸宏, 嶋本寛: 車線交通量のメカニズムを内生化した単路部多車線交通流モデルの構築, 土木学会論文集, No.530/IV-30, pp.31-40, 1996.
- 3) 塩見康博, 谷口知己, 宇野伸宏: 車線交通量のメカニズムを内生化した多車線交通流モデルの構築, 交通工学論文集, Vol.1, No.3, pp.1-10, 2015.
- 4) 劉彬, 柳原正実, 小根山裕之: 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, 第37回交通工学研究発表会論文集, 2017.
- 5) 柳原正実, 小根山裕之, 朱慧琚: 車両追従挙動における走行型視線誘導システムのドライバー別影響分析, 第53回土木計画学研究発表会・講演集, pp.2844-2850, 2016.
- 6) 中村英樹, 小林正人, Jerome L.CATBAGAN: 追従車交通密度を考慮した往復2車線道路における付加追従車線の設置水準に関する研究, 土木学会論文集, No.3, Vol.67, pp.272-282, 2011.

(2017. 7. 30 受付)

SIMULATION ANALYSIS OF EFFECTS OF ACCELERATION BEHAVIORS CORRESPONDING TO LANE-CHANGING VEHICLES

Nanami Matsuyama, Masami Yanagihara and Hiroyuki Oneyama

Lane-changing behaviors toward a passing lane become frequent when traffic volume increase, and it leads a traffic congestion. This is because a rapid deceleration of following vehicle on a passing lane due to lane-changing causes a generation and propagation of deceleration wave. On the other hand, behaviors of following vehicles on a passing lane have not been analyzed completely in previous studies, and generation and propagation of deceleration wave due to lane-changing have not been revealed. However, this knowledge is significant to reveal effects for traffic due to lane-changing.

In this paper, a simulation model considering acceleration and deceleration behavior at lane-changing is constructed and analyzed by a micro traffic simulation. Its result shows a relationship between acceleration and deceleration behaviors and lower-traffic volume quantitated by the result obtained from a micro traffic simulation, and an estimation method is constructed.