

# 電子連結車両の導入に向けた課題と 実現可能性に関する研究 —合流挙動のシミュレーション分析—

井田 洋介<sup>1</sup>・日比野 直彦<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 政策研究大学院大学 大学院政策研究科 (〒106-8677 東京都港区六本木7-22-1)

E-mail: mjd21301@grips.ac.jp (Corresponding Author)

<sup>2</sup>正会員 政策研究大学院大学教授 大学院政策研究科 (〒106-8677 東京都港区六本木7-22-1)

E-mail: hibino@grips.ac.jp

近年、物流業界において長時間労働の忌避等を背景としたトラックドライバーの不足が深刻化しており、労働環境の改善が急務となっている。その一方策として電子連結技術を活用したトラックの牽引走行の導入が期待されているが、実現に向けては、隊列形成拠点等のハード整備や走行運用方法の確立等、種々の課題が残されている。本研究では、長大な電子連結車両の安全・円滑な走行運用方法の確立に向け、特に周辺交通流における安全・円滑性に与える影響が大きいと思われる高速道路の合流部で電子連結車両が他車の合流を受ける場面に着目する。そして、既存の交通シミュレーションモデルを組み合わせることで開発した分析システムにより、被合流時において電子連結車両が周辺交通流に与える影響および被合流の安全・円滑性向上方策の効果を明らかにした。

**Key Words:** truck platooning, traffic simulation, expressway, merge

## 1. はじめに

近年、物流業界において、貨物の小口多頻度化が進む一方で、長時間労働の忌避等を背景としたトラックドライバーの不足が深刻な問題となっており、労働環境の改善が急務となっている。そこで、自動運転技術、電子連結技術を活用してトラックを牽引走行させることにより、物流の効率化、労働環境の改善等を図る隊列走行の導入が期待されている。隊列走行には、先頭車のみによりドライバーを乗せ、後続車は車車間通信による無人追従走行とすることで直接的に人手不足の解決を図る構想や、後続車にもドライバーを乗せるものの、自動運転技術により運転操作を不要とすることで負担を軽減する構想等がある。詳細は第3章で述べるが、隊列走行は米国、欧州、日本を中心として、それぞれの戦略に基づき、導入・実用化に向けた技術開発、種々の検討が進められている。

欧州においては、隊列走行の普及のためには早期導入とその後の段階的な発展が重要であるとして、急速な完

全自動化、後続車無人隊列走行の実現は追及しない戦略が取られており、後続車有人隊列走行の早期普及を重要視した上で、大手物流企業等を巻き込んだ実証実験によるメリット共有や、本線上でのマッチング等の多様な運用方法の検討が積極的に実施されている<sup>1)</sup>。一方、日本においては後続無人化の実現に向けた具体的な検討が既に進められており、2020年2月には新東名高速道路の一部区間において後続車無人隊列走行の実証実験を成功させる等、欧州に比して後続無人化への温度感が高いことが見て取れる。

しかしながら、後続車有人隊列走行の早期実用化、普及促進に向けた戦略検討、環境整備等については、欧州の方がやや先行しているものと考えられる。後続車無人隊列走行の実現に向けては多くの課題が残されており、例えば無人自動走行する後続車の法的要件の整理、電子牽引や車車間通信のルール整備、隊列形成拠点等のインフラ整備、安全・円滑な走行運用方法の確立等が挙げられる<sup>2)</sup>が、これらはいずれもが解決に時間を要する。また、後続車有人隊列走行としても実用化に向けた課題は

未だ残されており、先に挙げた走行運用方法の確立は同様に重要な問題である他、複数の物流企業による共同輸送を行うことでマッチング機会を増やすために、複数物流企業間の運行ルートやスケジュール調整を行うマッチングプロバイダと呼ばれる第三者機関を設立し、隊列マッチング、運行スケジュール調整、利益配分等の制度設計を行う必要があるとされている<sup>1)</sup>。ただし、マッチングプロバイダについては、普及が進むにつれて徐々に重要度が増していくものであると捉えると、早期実用化・普及を目指す上でのクリティカルな課題としては、走行運用方法の確立のみであると考えられる。また、後続車有人隊列走行の普及が、後続車無人隊列走行の擁する課題解決を円滑化することを勘案すると、後続車無人隊列走行を早期実現するための戦略としては、欧州の様にまずは優先的に後続車有人隊列走行の早期実用化、普及を目指すことが最も効率的である可能性が十分考えられる。以上を踏まえると、将来的な後続車無人隊列走行をも含めたトラック隊列走行の実現に向けて、現在解決すべき最も重要かつ喫緊の課題は、安全・円滑な走行運用方法の確立、また、そのためのハード整備等の要否の検討であると考えられる。

隊列走行は、協調型車間距離制御システム (Cooperative Adaptive Cruise Control: CACC) を用いて、後続車両が先頭車の加減速、操舵等の挙動を自動再現することにより車間距離を短くすることが可能であり、また、その程度は連結台数にもよるが、概して長大車両となることから、周辺交通流に対し多様な正負の影響を与え得る。隊列走行の主な活用となると想定される高速道路において負の交通影響を与える可能性が高い状況としては、次のようなものが考えられる。(i) 隊列が本線に合流する状況においては、限られた区間において長大車両が合流し得るギャップを確保することが困難になることが想定され、(ii) 隊列が本線合流部付近走行中に他車が合流する状況 (以下、被合流と呼ぶ) においては、隊列が壁となり、合流車が合流可能なギャップを見つけられず無理な合流や、合流失敗する危険性が生じ得る。また、(iii) 隊列が車線変更を行う状況においては、長大車両が入り込むギャップ確保が困難になることが考えられ、(iv) 隊列が分流部付近で (第一) 走行車線を走行中に、隣接車等が分流を希望する状況においては、隊列が壁となり、分流希望車が流出機会を逃してしまう可能性等が考えられる。

これらの状況において、特に周辺交通流の安全性への影響という観点では、例えば、(i) は流入タイミング等の主導権が隊列側にあるため、安全制御が比較的容易であることや、(iv) は分流部直近において、流出希望車の不安全な車線変更につながる恐れはあるが、(第一) 走行車線への早期車線変更を促す等、簡易な方策で対策可能

であるのに対し、(ii) は周辺一般車ドライバーの能力・判断に依存する要素が大きく、(iii) は周辺一般車ドライバーの許容性、交通量等、外的要因に依存する要素が大きいため、相対的に安全性への影響 (事故リスクとの直結性) が大きいと考えられる。しかしながら、特に国内においては、隊列の被合流時や車線変更時における周辺交通流に与える影響については、あまり研究が為されておらず、分析が十分進んでいるとは言い難い状況にある。

また、2018、2019 年度に実施された公道実証実験結果においても、合流部における安全・円滑性確保の必要性が課題視されており、加速車線の延長や、合流車の合流タイミング、交通量を制御するランプメタリングの導入等といった、ハード整備による対応方策が検討されている<sup>3)</sup>。ただし、都市間高速道路等を対象とした広範囲のハード整備には、莫大な費用・時間を要するため、その実効性や、優先的な整備が必要となる交通条件を予測分析する必要があると考えられる。また、被合流を安全・円滑に行わせるため方策としては、合流部手前において隊列を事前に車線変更 (避走) させておくといった方法も考えられるが、先にも述べた通り、長大車両である隊列を臨機に挙動制御することの可否については、交通量等の外的要因に左右される可能性が高いことが想定されるため、当該方策を走行運用方法として考える上では、その交通条件上の要件等について、十分な検討が必要となると考える。

本研究では都市間高速道路を対象とし、高速道路の合流部における「電子連結車両の走行」および「被合流の安全・円滑性向上方策」の影響を評価可能な分析システムを開発した上で、電子連結車両の走行・挙動制御による周辺交通への影響、またハード整備等による安全・円滑性向上方策の実効性を明らかにすることを目的とする。具体的には、(I) 既往研究により提案された複数の交通 (ミクロ) シミュレーションモデルを有機的に連動させ、高速道路の合流部における「電子連結車両の走行」および「被合流の安全・円滑性向上方策」の影響を評価可能な分析システムの開発を行い、開発したシステムを用いて、(II) 合流部 (被合流時) における電子連結車両の走行が周辺交通流の安全性・円滑性に与える影響を明らかにする。さらに、(III) 悪影響を及ぼし得ることが想定される条件下において、複数の安全性・円滑性向上方策の効果を、(IV) の分析結果等との比較を通じて明らかにする。

## 2. 既往研究のレビューと本研究の位置付け

### (1) 隊列走行トラックに関する研究

隊列走行トラックに関する研究は国内外で行われて

おり、Liu *et al.*<sup>4)</sup>、Ramezani *et al.*<sup>5)</sup>の様に CACC 挙動のモデリングにより隊列車両が非自動運転車と混在する交通下における影響分析を行った研究や、隊列を形成する車両のコーディネーション問題を取扱い、主に本線上において走行中に連結相手を探索する隊列形成方法を対象に、コスト最小化問題等の分析を行う研究 (Zhang *et al.*<sup>5)</sup>、Larson *et al.*<sup>6)</sup>、竹田ら<sup>7)</sup>) が存在する。また、本研究で着目している高速道路の分合流部において隊列が周辺交通流に与える影響については、平田ら<sup>9)</sup>は交通シミュレータ VISSIM を用いて隊列の本線合流およびその円滑化方策が与える周辺交通流への影響分析を行っている。また、河合ら<sup>10)</sup>は、Treiber *et al.*<sup>11)</sup>、Kesting *et al.*<sup>12)</sup>によって提唱された既存の交通ミクロシミュレーションモデルを用いて、隊列の分流挙動について分析を行っている。国外においては、Wang *et al.*<sup>13)</sup>は、Schakel *et al.*<sup>14),15)</sup>によって構築されたモデルを使用し、オランダの高速道路を対象とした隊列の被合流および避走等の挙動制御による影響分析を行っている。

## (2) 運転挙動モデルに関する研究

交通ミクロシミュレーションにおいては、交通流を形成する個々の車両挙動を定式化して表現する方法が一般的である。現実の交通状況を再現するためには、車両の前後方向の挙動、すなわち前方車両との距離、速度差等に応じて、衝突しないような速度調整を行うための加減速制御をモデル化した車両追従モデルをベースとして、車両の左右方向の挙動、すなわち走行速度が希望速度を満たせないような交通状況等において、隣接車線への車線変更を行う制御を表現した車線変更モデル等を組み合わせる必要がある。

主たる車両追従モデルについては、大口ら<sup>16),17)</sup>によって体系的な整理・性能比較が為されており、代表的なものとしては、GM モデル<sup>18)</sup>と呼ばれる、前方車両に追従しようとする車の時刻  $t$  における加速度が、時刻  $t - \delta t$  における相対速度に比例、車間距離に反比例するものとして追従挙動を表現したモデルや、越<sup>19)</sup>により構築

された、道路の縦断勾配差を考慮し、サグ部やトンネル入口部等を先頭とした渋滞流における追従挙動を表現するモデル等が存在する。また、Treiber *et al.*<sup>11)</sup>によって構築された IDM (Intelligent Driver Model) は、希望速度、最大加速度、希望車頭時間等の少数のパラメータにより車両の加減速を表現したものであり、VISSIM 等、数多くのシミュレータに実装されている。

車線変更モデルに関する研究は、岩崎ら<sup>20)</sup>によって整理されている。Gipps<sup>21)</sup>は、ドライバーが希望速度を満たしているか、意図した車線を走行できているかを勘案し、車線変更の可能性、必要性、望ましさを考慮した Gap Acceptance Model を構築しており、この概念は国内外の多くの車線変更モデルに共通して取り入れられている。また、Kesting *et al.*<sup>12)</sup>、Schakel *et al.*<sup>14),15)</sup>は、先に車両追従モデルの説明で取り上げた IDM、あるいはそれをベースとして一部改良を行った IDM+<sup>14)</sup>との互換性のある車線変更モデルを提案している。

## (3) 本研究の位置付け

(1)でも述べたように、高速道路の分合流部における隊列の交通影響を交通ミクロシミュレーションにより分析している研究は存在するものの、特に国内の高速道路における被合流の状況を対象に、合流部近傍における隊列の走行、挙動制御が周辺交通流に与える影響の分析を行ったものは著者の知る限り存在せず、またその安全・円滑性の向上に寄与し得る複数の方策の実効性について検討した研究は見られないことから、その点が本研究の新規性として挙げられる。また、(2)で述べた通り、現実の交通状況をミクロに再現するための運転挙動モデルに関する研究は数多く存在する。以上を踏まえて、本研究は、電子連結車両・大型貨物・普通車等の挙動を精緻に表現する新たなモデル構築には主眼を置くものではなく、既存のモデルをベースとした複数の運転挙動モデルを連動させ、電子連結車両が与える交通影響を評価可能な開発システムを開発した上で、電子連結車両の導入に向けた、「被合流時の安全・円滑性を確保するため

表-1 欧州における主な実証実験と対象<sup>1)</sup>

年	地域	名称	台数	車間距離
1996-04	EU	CHAUFFEUR	2, 3	6-12m
2005-09	EU	KONVOI	4	10-15m
2009-12	EU	SARTRE	2	6m
2013-16	EU	COMPANION	2, 3	10m
2015-16	EU	European Truck Platooning Challenge (ETPC)	2, 3	10-30m
2017-19	ドイツ	MAN, DB Schenker	2	12-15m
2018-19	スウェーデン	Sweden4Platooning	2	20m
2018-21	EU	ENSEMBLE	2	6-18m
2018-	フィンランド	Scania, Ahola	3	
2018-20	イギリス	Helm-UK (TRL, DAF, DHL)	3	

の、交通条件上の要件、課題の抽出」、 「課題解決に寄与し得る複数の交通政策の実効性の検証」を行う、交通計画・交通政策の視点に立った研究に位置付ける。

### 3. 国内外における隊列走行導入の動向

#### (1) 米国における動向

米国においても、日本と同様、物流業界におけるトラックドライバー不足の問題は深刻化している。ドライバー不足で労働条件が悪化することにより安全性が低下することを防ぐために、運転負担を軽減することや、燃費改善による環境改善を行うことを目的として、トラック隊列走行の技術開発・導入が進められてきており。近年の動向については、鈴木<sup>22)</sup>によって整理されている。米国では、約 20 年前から California Partners for Advanced Transportation Technology (PATH) により研究、開発が実施されている。2019 年には、スタートアップ企業である Peloton Technology が、場所、条件を限定した高速道路における同一ブランドのトラック 2 台を用いた SAE Level 1 の隊列走行を既に商用化しているものの、社会受容性はまだ確立されておらず、完全商用化が許容されているのは 17 州に留まっている<sup>22)</sup>。また、Peloton は 2019 年に AVS2019 で SAE Level 4 の後続無人隊列走行システム Automated Flow (連結台数は 2 台) を発表しているが、そのシステムや装備の詳細については不明である<sup>22)</sup>。

#### (2) 欧州における動向

欧州におけるトラック隊列走行導入検討の背景としては、貨物輸送需要が増加し続ける中、ドライバー不足が深刻化していること、また、近年は環境規制の強化を背景として、環境改善のメリットに期待していること等が挙げられる。近年の動向は、渡部<sup>1)</sup>、鈴木<sup>22)</sup>によって整理されており、以下にその要旨をまとめる。

欧州では、1990 年代から主要トラックメーカーにより、後続車有人を前提とした技術開発が進められてきており、これまで表-1 に示すような様々な実証実験が行われてきた。その中でも、2016 年に実施された European Truck Platooning Challenge は、オランダ政府と欧州道路管理者会議が主導し、スウェーデン、デンマーク、ドイツからオランダのロッテルダム港に向けて越境輸送を行った大規模な公道実証実験である。特徴として、主要トラックメーカー (DAF Trucks, DAIMLER, IVECO, MAN, Scania, VOLVO Trucks) が参加し、共同で成果をアピールしたこと等が挙げられ、欧州自動車工業会 (Association des Constructeurs Europeens d'Automobiles : ACEA) による隊列走行の商業化実現に関するロードマップでは、2022 年にはマルチブランドトラックによる隊列走行を市場

導入することが計画されている。その他、2018 年から 3 年間にわたり行われた Enabling Safe Multi-Brand Platooning for Europe (EMSEMBLE) は、オランダ応用科学研究機構 (Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek : TNO) が主導し、欧州のトラックメーカー 6 社、公的機関 (ITS) 等が参加した、マルチブランド隊列走行の実現を目指した大規模な EU フォンドプロジェクトである。当該プロジェクトにおいて、隊列走行の普及のためには早期導入とその後の段階的發展が重要であるとしており、急速な完全自動化は追及しないという戦略をとっている。また、実現に向けては、IT インフラの運営・管理、トラック運行データの管理、マッチング・利益折半の仕組の運営・管理を行う「隊列サービスプロバイダ」の必要性を挙げている<sup>1)</sup>。

#### (3) 国内における動向

日本では、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (New Energy and Industrial Technology Development Organization : NEDO) によるエネルギー ITS 推進事業 (2008~2012 年度) において開発が実施されてきた。日本における近年の動向としては、2017 年 ~ 2020 年度に、新東名高速道路と北関東自動車道において、国内メーカー 4 社 (日野自動車、いすゞ自動車、三菱ふそうトラック・バス、UD トラックス) が開発したトラックにより、これまでの技術開発を踏まえた公道実証実験を行っており、この中で後続車無人による実走行も行われている。トラック隊列走行に関するロードマップにおいては、高速道路における後続有人隊列走行を 2021 年まで、後続無人隊列走行を 2022 年度以降に実用化することが目標として定められている。

#### (4) 欧州と日本の動向比較

渡部<sup>1)</sup>は、欧州と日本における近年の動向を踏まえた状況の比較を行っており、以下にその要旨をまとめる。

##### a) 後続無人化の検討に関して

欧州においては、段階的な発展・普及を重要視する戦略を取っており、具体的な検討はまだ行われていない。一方、日本においては、既に公道実証実験を行う等の面において先行しており、後続無人隊列走行の実現への温度感が高いことが見て取れる。

##### b) 規格標準化に関して

日本では、国内メーカーによる共通のシステムを使用した運用の検討が進められており、国内メーカー間におけるマルチブランドの隊列走行の実現を目指しているのに対し、欧州では、多国籍トラックメーカー間での国際標準化の取組みが実施されている。方針・戦略の違いという捉え方もあるかもしれないが、「規格標準化」という観点では欧州の方が先行している。

c) 実証実験の主体, 分析内容等に関して

欧州は, 大手物流企業の実証実験への参加, すなわち物流企業との隊列のメリットや課題の共有, またドライバーのストレス等の影響分析等の点で, 日本に比して先行している.

4. 分析システムの開発

本研究で開発するシステム上においては, 現実に近い交通状況を再現した上で, 普通車等とは異なる特殊な制御の基で走行する電子連結車の挙動を表現し, また, 複数の交通施策を可能な限り細かく表現する必要がある. VISSIM, SUMO 等のパッケージ化された交通シミュレータをはじめとして, 現実の交通流を表現可能な既存システムは数多く存在するが, こうしたシミュレータにおいては, 改変が可能な式・変数に制約がある場合が多い. また, 既往研究等において, 複数のモデルを組合せて構築されているシステムにおいても, 本研究において具備すべきと考えた主な挙動 (詳細は後述) や, 電子連結車の走行により生じ得る危険車両の挙動等を, 全て表現し得るものは見受けられない. そのため本研究では, 妥当性が検証されているいくつかの既存モデルを組合せることにより, 新たな分析システムを構築する. なお, 言語は R を, シミュレータは RStudio を用いる.

(1) 概説 (具備すべき条件)

本研究で構築したシステムにおいては, 主な挙動として, 車両の前後方向の制御に係る車両追従挙動, 車両の左右方向の制御に係る車線変更挙動, また, 特殊な制御に基づく電子連結車の挙動を考慮している. 表-2 にその詳細を示す.

(2) 車線変更モデル

a) 車線変更の要否の判定

Schakel *et al.*<sup>14)</sup>によって構築された LMRS (lane change model with relaxation and synchronization) に基づき, 車線変更に対する動機を大きさを定量化し, 車線変更の要否の判定を行う. LMRS では, 車線変更における主な動機

として, (i) 目的地に沿った車線を走行したいという動機 ( $d_r^{ij}$ ), (ii) 自車の速度を向上したいという動機 ( $d_s^{ij}$ ), (iii) キープレフトを遵守したいという動機 ( $d_b^{ij}$ ) の3つを挙げており, これらを組み合わせることにより, 各車両の状況に応じた車線変更に対する動機の大きさを定量化している. 車線  $i$  から車線  $j$  への車線変更動機の大きさ ( $d^{ij}$ ) を式(1)に示す.

$$d^{ij} = d_r^{ij} + \theta_v^{ij} (d_s^{ij} + d_b^{ij}) \quad (1)$$

$\theta_v^{ij}$  は, 自発的な動機の比重を決定するパラメータである. 式(1)により, 各タイムステップにおいて, 各車両の左右車線それぞれへの車線変更動機の大きさを定量化・大小比較し, 大きい方の動機  $d^{ij}$  が閾値 ( $d_{free}$ ) 以上となった際に, その方向への車線変更の必要があると判定する.

b) 安全条件

自車が安全に車線変更できるか否かを判断するための安全条件について述べる. 安全条件は, 西村ら<sup>23)</sup>の判定式に基づき, (i) 車線変更先の後続車  $b'$  との車間距離  $d_{b'}$  が最低車間距離  $G_{min}$  以上, (ii) 車線変更先の前方車  $f'$  との車間距離  $d_{f'}$  が  $G_{min}$  以上, (iii) 車線変更を実施した場合の, 車線変更先の後続車の減速度  $b_{b'}$  が, 最大減速度  $b_{max}$  を超えない, (iv) 車線変更を実施した場合の, 自車の減速度  $b_b$  が, 最大減速度  $b_{max}$  を超えない, という4条件全てを満たすときに車線変更を行うことが可能であると判定する. 安全条件を式(2)に示す.

$$d_{b'} \geq G_{min} \cap d_{f'} \geq G_{min} \cap b_{b'} \leq b_{max} \cap b_b \leq b_{max} \quad (2)$$

なお,  $G_{min}$  については, (3)で述べる IDM<sup>14)</sup>における動的な最低車間距離の式に基づき, 停車時の最低車間距離 ( $s_0$ ), 自車および前方車・後続車の希望車頭時間 ( $T$ ), 時間  $t$  における自車の速度 ( $v(t)$ ), 時間  $t$  における前方車の速度 ( $v_f(t)$ ), 最大加速度  $a_{max}$ , 最大減速度  $b_{max}$  により, 式(3)で算出される.

表-2 システム上で考慮している主な挙動

車両追従挙動	自由走行時において自車の速度を希望速度に近づけようとする挙動および前車との距離に応じて加減速制御を行う挙動
車線変更挙動	周辺車両の速度や, 車間距離に基づき, 自車の車線変更の必要性 (動機) の大きさを判断し, 必要 (あるいは有益) と判断された場合において, 自車と車線変更先前後方車両が安全な車間距離・減速度を保てる場合において, 車線変更を行う挙動
電子連結車両挙動 (CACC・ACC)	単なる長大車両ではなく, 複数車両により隊列が形成され, 後続車が常に先頭車と同じ加減速を行うことで短い車間距離 (4m ~ 10m 程度) で追従する挙動

$$G_{min} = s_0 + v(t) * T + \frac{v(t)(v_f(t) - v(t))}{2\sqrt{a_{max}b_{max}}} \quad (3)$$

また、自車および前方車・後続車の希望車頭時間 $T$ は、自車の車線変更動機大きさに応じて変動するものとし、最小希望車頭時間を  $T_{min}$ 、最大希望車頭時間を  $T_{max}$  として、式(4)により決定される。なお、添え字の  $c$  は自車を、 $g$  は自車および前方車・後続車を表すものとする。

$$T^g(d^{ij,c}) = (d^{ij,c} * T_{min}^g + (1 - d^{ij,c}) * T_{max}^g) \quad (4)$$

c) 不安全な車線変更（合流）挙動

合流車のみ適用する制御として、加速車線終端部付近まで到達してしまった車両が、焦って無理な（平常時の安全条件を逸脱した）合流を行う挙動を考慮している。具体的には、加速車線の残り延長が 30 m 以内の場合において、(i) 合流後の後続車との車間距離  $d_{br}$  が 10m 以上、(ii) 合流後の前方車との車間距離  $d_{fr}$  が 2m 以上、(iii) 車線変更を実施した場合、車線変更先の後続車の減速度  $b_{br}$  が、 $10 \text{ m/s}^2$  を超えない場合には、車線変更が可能であると判定する。これは、こうした不安全な合流挙動が起きる頻度が、隊列の導入により増加する可能性を考慮し、当該頻度を隊列の交通影響における不安全性を評価するための指標として観測するために設けているものであり、詳細については、5 章で述べる。

(3) 車両追従モデル

a) 加速度の決定

車両の加速度は、Treiber *et al.*<sup>11)</sup>によって構築されている IDM (Intelligent Driver Model) を、Schakel *et al.*<sup>14)</sup>が部分的に改良した IDM+によって定める。加速度は、希望速度を  $v_{des}$ 、前方車との車間距離を  $s$  として、式(5)、(6)で決定される。

$$\frac{dv(t)}{dt} = a_{max} * \min \left( 1 - \left( \frac{v(t)}{v_{des}} \right)^4, 1 - \left( \frac{s^*}{s} \right)^2 \right) \quad (5)$$

$$s^* = s_0 + v(t) * T + \frac{v(t)(v_f(t) - v(t))}{2\sqrt{a_{max}b_{max}}} \quad (6)$$

b) 同調行動と協調行動

LMRS では、式(1)により算出された希望動機大きさに応じて、自車あるいは、自車および車線変更先の後方

表-3 モデルパラメータの設定値

パラメータ	設定値
希望速度： $v_{des}$ (km/h)	実データ より設定
最大加速度： $a_{max}$ (m/s <sup>2</sup> )	1.25
最大減速度： $b_{max}$ (m/s <sup>2</sup> )	2.09
最大希望車頭時間： $T_{max}$ (s)	1.20
最小希望車頭時間： $T_{min}$ (s)	0.56
停車時の最低車間距離： $s_0$ (m)	2
車線変更の実施判定の閾値： $d_{free}$	0.365
同調行動の実施判定の閾値： $d_{sync}$	0.577
協調行動の実施判定の閾値： $d_{coop}$	0.788
車間距離に関する挙動調整値： $k_s$ (s <sup>2</sup> )	0.3
速度差に関する挙動調整値： $k_{\Delta v}$ (s <sup>-1</sup> )	1.93
前方車加速度に関する挙動調整値： $k_a$ (s <sup>-1</sup> )	1
対設定速度差に関する挙動調整値： $k_{cc}$ (s <sup>2</sup> )	0.18
ブレーキ反応の強さ： $Q$	20
反応範囲： $P$	40

車が、車間距離を確保するための速度調整行動を行う。具体的には、自車の車線変更動機大きさが閾値 ( $d_{sync}$ ) を超えており、安全条件が満たせず車線変更できなかった場合は、自車は加速度を車線変更先の前方車の加速度に合わせる調整（同調）を行う。さらに、自車の車線変更動機大きさが閾値 ( $d_{coop}$ ) を超えており、安全条件が満たせず車線変更できなかった場合は、車線変更先の後続車は、加速度を自車の加速度に合わせる調整（協調）を行うものとする。なお、本研究においては、計算の簡略化のため、これらの行動は、合流車、これと隣接する合流先後続車のみが取っているものとしている。

(4) 電子連結車両挙動（CACC・ACC・CC）モデル

電子連結車両の挙動は、Wang *et al.*<sup>13)</sup>により提案されているモデルに基づき、隊列後続車はCACCにより、隊列先頭車は前方車との距離に応じてACC、またはCCにより加速度を制御するものとした。隊列後続車の加速度計算式を式(7)、(8)、(9)に示す。

$$\frac{dv_{CACC}(t)}{dt} = k_s(s - s_d) + k_{\Delta v} * R(v_f(t) - v(t)) + k_a * \frac{dv_f(t)}{dt} \quad (7)$$

$$s_d = s_0 + v(t) * T \quad (8)$$

$$R = 1 - \frac{1}{1 + Q * e^{-\frac{s}{P}}} \quad (9)$$

表4 シミュレーション条件

シミュレーション時間 (s)	300
1 条件あたりの計算回数 (回)	1,000
制限速度 (km/h)	120
車両発生間隔 (km)	アーラン分布に従うものとして決定
合流車発生頻度 (台/h)	250
大貨混入率	昼間：0.43 夜間：0.66
本線車両構成 (電子連結車を除く)	普通車 (車長：5m) 大型貨物車 (車長：12m)
合流車両構成	普通車 (車長：5m)

また、隊列先頭車の加速度計算式を式(10), (11)に示す。

$$\frac{dv_{ACC}(t)}{dt} = k_s(s - s_d) + k_{\Delta v} * R(v_f(t) - v(t)) \quad (10)$$

$$\frac{dv_{cc}(t)}{dt} = k_{cc}(v_{cc} - v_i) \quad (11)$$

隊列先頭車の最終的な加速度は、式(12)によって決定される。

$$\frac{dv(t)}{dt} = \min\left(\frac{dv_{ACC}(t)}{dt}, \frac{dv_{cc}(t)}{dt}\right) \quad (12)$$

なお、 $k_s$ ,  $k_{\Delta v}$ ,  $k_a$ ,  $k_{cc}$  はそれぞれ、車間距離、速度差、前方車加速度、設定速度に対する速度差に関する挙動調整パラメータであり、 $Q$  は車間距離が小さい場合におけるブレーキ反応の強さを決めるパラメータ、 $P$ は反応が指数関数的に強まる範囲を定めるパラメータである。

### (5) モデルパラメータの設定

Wang *et al.*<sup>13)</sup>, Schakel *et al.*<sup>14)</sup>, 西村ら<sup>23)</sup>を参考に設定したパラメータを表-3に示す。なお、希望速度については、新東名高速道路の3車線区間(浜松 SA 近傍)において、トラフィックカウンターにより計測(2021年の通年データ)された各車線1時間平均速度データの平均値、標準偏差より、システム上における車両の希望速度を正規分布に従うものとして与えている。

### (6) 現況再現性の確認

ここまで述べたモデルを組み合わせた分析システム

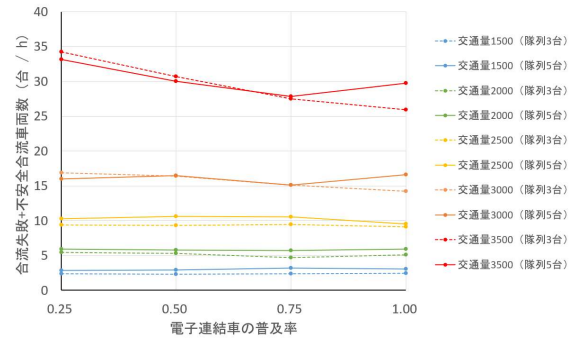


図-1 合流失敗、不安全合流車両数 (台/h) の変化 (ベースシナリオ)

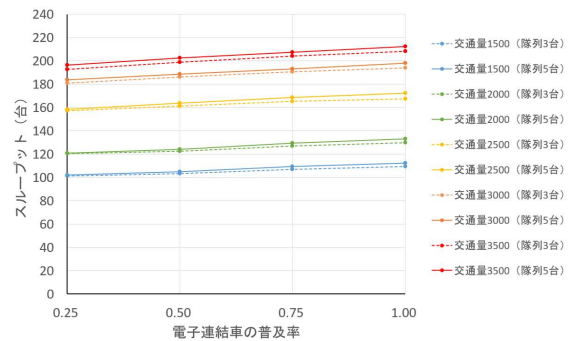


図-2 スループット (台) の変化 (ベースシナリオ)

を構築した上で、システムの現況再現性を確認している。紙面の都合上、結果についてはここでは割愛するが、(5)で希望速度の設定に用いたものと同様のトラフィックカウンターの計測データより、大貨混入率のデータ(データ傾向より、6時・18時を境に昼間・夜間に区分し、繁忙期を除いた期間の各時間帯における通年平均値を使用)を基に、大型貨物車(希望速度は80km/hとしている)の比率を設定した上で、同トラフィックカウンターデータの (i) 本線断面交通量, (ii) 車線使用率の実測値を基に、Q-V 関係(断面交通量と速度の関係)および車線使用率について、現況再現性の確認を行っている。結果として、いずれの指標についても大きな乖離は見られないことから、開発システムの妥当性は確保されているものとして、次章の分析を行っている。

## 5. 分析対象の設定

### (1) シミュレーション条件の設定

片側3車線、延長2kmの直線道路および200mの加速車線によって構成される道路環境を構築し、シミュレーション分析を行っている。加速車線延長については、道

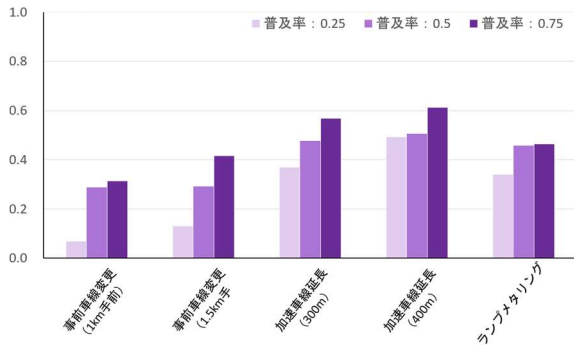


図-3 合流失敗，不安全合流車両数の減少率  
(シナリオ I ~ III : 2,500 台/h)

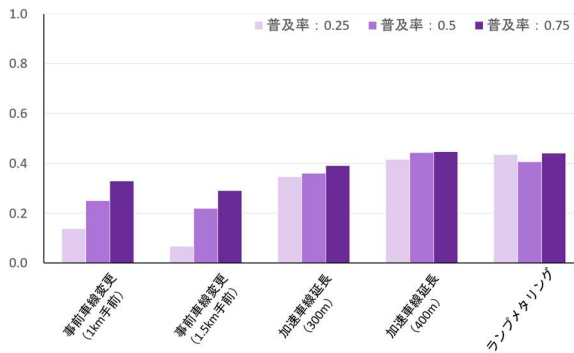


図-4 合流失敗，不安全合流車両数の減少率  
(シナリオ I ~ III : 3,000 台/h)

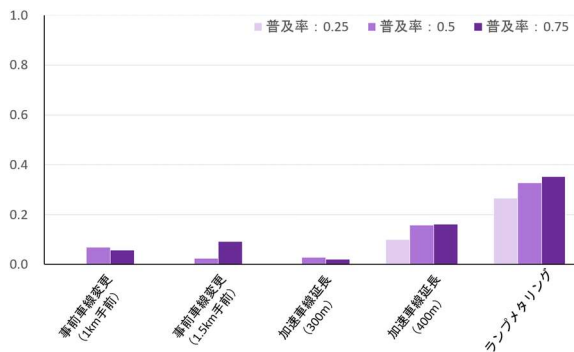


図-5 合流失敗，不安全合流車両数の減少率  
(シナリオ I ~ III : 3,500 台/h)

路構造令における第 1 種道路（高速道路）の加速車線長の標準値（設計速度 120km/h）に準拠している。その他の条件については、表-4 に示す。

## (2) 分析シナリオ

分析シナリオとしては、現況交通に電子連結車両を導入するシナリオをベースシナリオとし、以下、被合流の安全・円滑性向上方策として、電子連結車両が合流部 1km 手前、または 1.5km 手前に差し掛かった際に事前の車線変更（避走）を試みるシナリオをシナリオ I、加速車線の延長を 300m または 400m に延長するシナリオをシナリオ II、合流車の合流間隔を 150 台/h（30 秒に 1 台

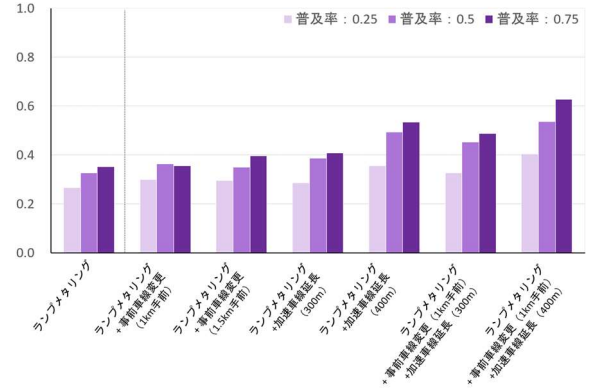


図-6 合流失敗，不安全合流車両数の減少率  
(複合方策 : 3,500 台/h)

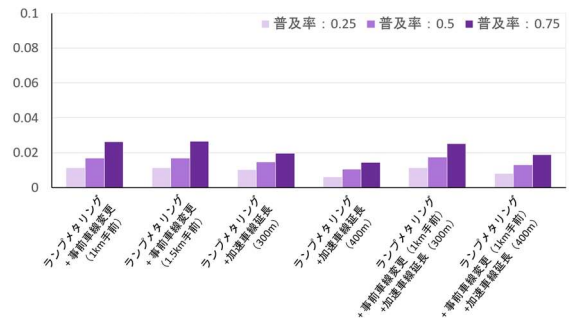


図-7 スループットの向上率  
(複合方策 : 3,500 台/h)

程度) に制御するランプメタリングに類した方策の導入シナリオをシナリオ III とし、シナリオ I ~ III における方策のそれぞれを組合せた状況の分析も行っている。

## (3) シミュレーションにおける変数

変数としては、本線交通量を 1,500 台/h から 500 台/h 刻みで 3,500 台/h まで、電子連結車両の普及率を 25% から 25% 刻みで 100% まで、電子連結車両の連結台数について 3 台、5 台の 2 パターンで変化させており、1 シナリオあたり 40 通りの組合せ条件で分析を行っている。

## (4) 評価指標

評価指標は、電子連結車両が安全性に与える影響を評価するための指標として、(i) 合流失敗車両数および 4 章で挙げた不安全な合流を行った車両数の合算値（いずれも 1,000 回の計算中発生した総台数と総計算時間より、1 時間当たりの台数に換算）を、円滑性に与える影響を評価するための指標として、(ii) スループット（各計算時間中にネットワーク右端部を通過した車両数を出力し、1,000 回の平均値として出力）、(iii) 一般車の合流位置分布（加速車線を 50m ごとの範囲に区分し、各計算において各範囲に入っている 1 時間当たりの台数に換算して出力し、1,000 回の平均値として出力）、(iv) 一般車の

合流速度分布 (1,000 回の計算中, 合流に成功した総車両数と合流時速度の総計値より, 平均値として出力) の 3 つを定めている。

## 6. 分析結果と考察

### (1) 各シナリオのシミュレーション結果

本章では, シミュレーション分析の結果およびその考察について述べる。なお, いずれのシナリオにおいても, 大貨混入率の増加により被合流の困難性が高まると考えられる夜間における結果について述べるものとする。

#### a) ベースシナリオ

ベースシナリオにおける, 不安全合流車両数と合流失敗車両数の合計値の変化を図-1 に示す。1,500 ~ 2,500 台/h 程度の交通量条件下では, 大きな悪影響は見られず, また, 普及率の上昇・連結台数の増加による影響も見られない。一方, 3,000 ~ 3,500 台/h においては, 合流失敗車両・不安全な合流の発生頻度が大きく上昇した。また, 75%程度の普及率までは, 連結車の普及が進むにつれて, すなわち本線交通における連結車の比率が上昇するにつれて, 危険事象の発生頻度がむしろ減少する可能性を示す結果となった。これは, 連結車が走行している状況と, 同台数の大型貨物が連なって走行している状況を比較した際に, 合流車を先頭車前方に導流するための速度調整を取る場面において, 前者は連動して速度を制御できるため, より円滑に速度, 車間距離の調整行動がとられることが一因として考えられる。また, スループットの変化を図-2 に示す。いずれの交通量条件においても連結車の比率の上昇に応じてスループットが向上している。これは, 連結車が短い車間距離で連なって走行することにより, 交通効率が上昇していることが要因であると考えられる。合流位置分布, 合流速度分布の変化については, 紙面の都合上, ここでは割愛する。

#### b) シナリオ I ~ III

シナリオ I ~ III においても, 5 章で述べた変数を用いて各 40 パターンの計算を行い, 各評価指標の分析を行っている。ここでは, 交通量条件が, 2,500 ~ 3,000 台/h, 普及率が 0.25 ~ 0.75, 連結台数が国内で実証実験の際に採用された 3 台の場合の結果について述べる。なお, 各シナリオで表現している方策の効果を評価する上で, 安全性指標としては, 合流失敗車両数および不安全な合流を行った車両数のベースシナリオに対する減少率を, 円滑性指標としては, スループットのベースシナリオに対する向上率を用いる。図-3, 4, 5 に, 交通量条件がそれぞれ 2,500 台/h, 3,000 台/h, 3,500 台/h の場合の, 各シナリオにおける前者の変化を示す。いずれの交通量条件下においても, 概して連結車に避走を強制する

シナリオ I に比して, 加速車線延長 (シナリオ II), ランプメタリング (シナリオ III) といったハード整備による方策の効果が大きい結果となった他, シナリオ I においては, 普及率が上昇, すなわち制御対象が増えれば増えるほど効果が大きくなる傾向が見られる。また, 各方策の効果は, 交通量の増加と共に低下するが, ランプメタリングにおいては, 3,500 台/h といった混雑条件下においても, 一定の効果を保つことが見て取れる。

#### c) シナリオ I ~ III の複合方策

前項において各方策の効果が大幅に低下した 3,500 台/h の条件下において, 最も大きな効果を示したランプメタリング (シナリオ II) を主軸として, その他の方策を組み合わせた場合の効果について分析を行った結果を図-6 に示す。いずれの組み合わせにおいても, ランプメタリング単体よりも大きな効果を示し, 複数の方策を組み合わせることにより複合的な効果が得られている。また, これらの複合方策を取った場合におけるスループットの向上率を, 図-7 に示す。非常に微小な変化ではあるものの, ベースシナリオに比してスループットが向上 (すなわち, 円滑性が向上) していることが見て取れる。

## 7. おわりに

### (1) 結論

本研究では, 既往研究により妥当性が検証されている複数の運転挙動モデルを有機的に連動させることにより, 高速道路の合流部における「電子連結車両の走行」および「被合流の安全・円滑性向上方策」の影響を評価可能な分析システムを開発した。また, 当該システムを用いて, 交通量, 電子連結車両の普及率, 連結台数に応じた, 電子連結車両の走行による周辺交通流への影響および挙動制御, ハード整備等による安全・円滑性向上方策の効果を, 合流失敗車両数等の安全指標, スループット等の円滑性指標を基に評価した。シミュレーションの結果, 交通量 1,500 ~ 2,500 台/h 程度の交通条件下では, 被合流における安全性への影響は小さい可能性を示し, 交通量 3,000 ~ 3,500 台/h といった混雑条件下においては, 合流失敗, 不安全合流といった危険車両が増加させる影響を及ぼす可能性を示した。また, 本線交通の円滑性 (捌き効率) については, 分析したいずれの交通量条件下においても, 隊列の普及が進むほど, また連結台数を増やすほど向上する可能性を示した。安全・円滑性向上方策の効果については, 概して電子連結車両の強制避走といった挙動制御よりも, ハード整備による方策の方が効果は大きく, また, 各方策の効果は交通量の増加と共に減少する可能性があること, ただし, 合流車の流入頻度を制限するランプメタリング方策についてはその

限りではなく、混雑条件下においても一定の効果を持つ可能性を示した。また、ランプメタリング導入方を主軸として、その他の複数の方策を組み合わせることにより、複合的な効果が得られる可能性があることを示した。

片側3車線という条件下において、交通量が3,000台/h未満程度までは電子連結車両導入による安全性への影響がほぼ見られないことを勘案すると、東京～名古屋間（東名→御殿場JCT→新東名のルート運用）においては、無対策であっても大部分で安全運用できる可能性がある。しかしながら、本研究では2車線区間の分析が未実施であることから、現状片側2車線である区間における運用については今後の精査が必要である。一方、大井松田IC～大和TN等の混雑区間においては安全対策が必要であり、取るべき方策としては、混雑条件下においても効果を保つ可能性の高いランプメタリングにより合流車流入頻度を制御した上で、その後の合流時の状況を慎重に観察しつつ、必要性、また現地条件に応じた方策の導入のしやすさ等を勘案して、追加的な対策を取っていくことが望ましいと考える。なお、用地制約等を考慮すると、ランプメタリングの導入は、比較的広域整備が容易である可能性があり、この点においても有用であると考えられる。また、今後一般車を含めた車車間通信の普及により、状況がより安全側に転じる可能性もあるため、逐次、そうした状況の変化をも踏まえた対応を取っていく必要があるものとする。

## (2) 今後の課題

今後の課題としては、(1)で挙げた2車線区間の場合の分析の他、本研究で実施したシミュレーションにおいて本線上に発生させた車両は、制限速度超過、あおり運転等といった危険行動を取らないような挙動を取るものとしているが、現実においては、こうした車両が一定数存在し、電子連結車両の挙動およびその周辺交通流に影響を与え、結果として被合流時における安全性等に影響を与える可能性は十分考えられるため、そうした車両が発生する状況下における分析の必要性が考えられる。

また、安全・円滑性向上方策として分析した事前車線変更方策について、本研究では全連結車が同時に流入可能なギャップが存在する場合にのみ車線変更が可能であるという判定を行っているが、電子連結車の車線変更は、隊列構成車が先頭車から、あるいは後続車から順次車線変更していくといった、より円滑な車線変更が可能となり得る方法も想定され、挙動制御の効果が高くなる可能性があるため、この点についても今後の分析、評価を行うことが望ましい。また、本研究で分析している方策以外にも、例えば合流部近傍において連結車両の車間を拡げる制御を行う等、様々な方策が考え得るため、他方策の検討、効果検証については、今後の課題とする。

**謝辞**：本論文は、井田洋介が政策研究大学院大学に在学中に実施した分析を基にし、取りまとめたものである。本研究を遂行するにあたり、政策研究大学院大学 森地茂名誉教授・客員教授、徳山日出男客員教授、東京海洋大学 兵藤哲朗教授、渡部大輔准教授、茨城大学 平田輝満准教授、大阪大学 廣森聡仁准教授から有益なコメントをいただいた。また、派遣元である中日本高速道路株式会社からは、交通量等データをご提供いただいた。ここに記して感謝の意を表する。

## REFERENCES

- 1) 渡部大輔：欧州におけるトラック隊列走行に関する取組みの現状、海運経済研究, 第54号, 10pages, 2020. [Watanabe, D.: Ousyuu ni okeru truck tairatsusoukou ni kansuru torikumi no genjyou, *Journal of logistics and shipping economics*, Vol.54, 10pages, 2020.]
- 2) 豊田通商株式会社：平成29年度高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業（トラックの隊列走行の社会実装に向けた実証）報告書, 2018.
- 3) 国土交通省道路局：「第2回自動運転に対応した道路空間に関する検討会」資料, 2019.
- 4) Liu, H., Kan, X. D., Shladover, S. E., Lu, X. Y., and Ferlis, R. E. : Modeling impacts of Cooperative Adaptive Cruise Control on mixed traffic flow in multi-lane freeway facilities, *Transportation Research Part C*, Vol. 95, pp. 261-279, 2018.
- 5) Ramezani, H., Shladover, S. E., Lu, X. Y., and Altan, O. D. : Micro-Simulation of Truck Platooning with Cooperative Adaptive Cruise Control: Model Development and a Case Study, *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board*, No.2672, pp. 55-65, 2018.
- 6) Zhang, W., Jenelius, E. and Ma, X : Freight transport platoon coordination and departure time scheduling under travel time uncertainty, *Transportation Research Part E*, I\_1372, Vol.98, pp. 1-23, 2017.
- 7) Larson, J., Kammer, C., Liang, K. Y., and Johansson, K. H. : Coordinated route optimization for heavy-duty vehicle Platoons, *In 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013)*, pp. 1196-1202, 2013.
- 8) 竹田郁海, 平田輝満, 阿部柊人: 物流センサを活用したトラック隊列走行の燃費削減効果推計手法に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.75, No.5, pp. I\_891-I\_899, 2019. [Takeda, I., Hirata, T., and Abe, S.: Analysis of fuel saving potential of truck platooning by using freight transport census data in Japan, *Transaction of the Japan Society of Civil Engineers*, Vol.75, Issue 5, pp. I\_891-I\_899, 2019.]
- 9) 平田輝満, 讚良将信, 影山拓哉: 隊列自動走行のための高速道路合流部の運用方法に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.74, No.5, pp. I\_1361-I\_1373, 2018. [Hirata, T., Sawara, M., and Kageyama, T.: Operation of expressway on-ramp merging for longer platoons, *Transaction of the Japan Society of Civil Engineers*, Vol.74, Issue 5, pp. I\_1361-I\_1373, 2018.]

- 10) 河合功介, 田 学軍, 井手口哲夫, 奥田 隆 : マルチエージェントによるプラトーン走行グループ構成の検討, 情報処理学会研究報告書, Vol. 2010-MBL-56, No.12, 6pages, 2010. [Kawai, K., Tian, X., Ideguchi, T., and Okuda, T.: Evaluating composition of platoon running group by multi agent, *ISPJ SIG Technical Report*, Vol.2010-MBL-56, Issue 12, 6pages, 2010.]
- 11) Treiber, M., Hennecke, A., & Helbing, D. : Congested Traffic States in Empirical Observations and Microscopic Simulations, *Physical review E*, Vol. 62(2), pp. 1805-1824, 2000.
- 12) Kesting, A., Treiber, M., and Helbing, D. : General lane-changing model MOBIL for car-following models, *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board*, No. 1999, pp. 86-94, 2007.
- 13) Wang, M., van Maarseveen, S., Happee, R., Tool, O., and van Arem, B. : Benefits and risks of truck platooning on freeway operations near entrance ramp, *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board*, No. 2673, pp.588-602, 2019.
- 14) Schakel, W. J., Van Arem, B., and Netten, B. D. : Effects of cooperative adaptive cruise control on traffic flow stability, In *13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 759-764, 2010.
- 15) Schakel, W. J., Knoop, V. L., and van Arem, B. : Integrated lane change model with relaxation and synchronization, *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board*, No. 2316, pp. 47-57, 2012.
- 16) 大口 敬, 小沼良一 : 勾配影響を考慮した追従挙動モデルの比較分析, 土木計画研究・講演集, No.34, 4pages, 2006. [Oguchi, T., and Konuma, R.: Comparative study of car-following models including grade change effects, *Proceedings of infrastructure planning*, Issue 34, 4pages, 2006.]
- 17) 大口 敬 : 高速道路単路部渋滞解析-追従挙動モデルの整理と今後の展望-, 土木学会論文集, No.660, IV-49, pp. 39-51, 2000. [Oguchi, T.: Analysis of bottleneck phenomena at basic freeway segments - car-following model and future exploration -, *Transaction of the Japan Society of Civil Engineers*, Issue 660, IV-49, pp.39-51, 2000.]
- 18) Gazis, D. C., Herman, R., & Potts, R. B., Car-following theory of steady-state traffic flow, *Operations research*, Vol.7, pp. 499-505, 1959.
- 19) 越 正毅 : 高速道路のボトルネック容量, 土木学会論文集, No.371, IV-5, pp. 1-7, 1986. [Koshi, M.: Capacity of motorway bottlenecks, *Transaction of the Japan Society of Civil Engineers*, Issue 371, IV-5, pp. 1-7, 1986.]
- 20) 岩崎真純, 野中康弘 : 高速道路における車線変更モデルに関する研究レビュー, 土木計画学研究・講演集, Vol.55, 9pages, 2017. [Iwasaki, M. and Nonaka, Y.: Kousokudouro ni okeru syasenhenkou model ni kansuru kenkyu review, *Proceedings of infrastructure planning*, Vol.55, 9pages, 2017.]
- 21) Gipps, P.G. : A Model for the structure of lane-changing decisions, *Transportation Research Part B*, Vol.20B, No.5, pp. 403-414, 1986.
- 22) 鈴木尋善 : トラック隊列走行の最新動向, *JARI Research Journal*, JRJ20191202 解説, pp. 1-5, 2019. [Suzuki, H.: Latest trends in truck platooning, *JARI Research Journal*, JRJ20191202, pp. 1-5, 2019.]
- 23) 西村友佑, 藤田 敦, 廣森聡仁, 山口弘純, 東野輝夫, 諏訪 晃, 浦山博史, 竹嶋 進, 高井峰生 : 従来車と調和する自動運転車の運転挙動モデル, 情報処理学会研究報告 CSEC, Vol.80, No.24, pp. 1-8, 2018. [Nishimura, Y., Fujita, A., Hiromori, A., Yamaguchi, H., Higashino, T., Suwa, A., Urayama, H., Takeshima, S. and Takai, M.: A study on behavior of autonomous vehicles cooperating with manually-driven vehicles, *ISPJ SIG Technical Report*, Vol.80, Issue 24, pp.1-8, 2018.]

(Received ?)

(Accepted ?)

## TRAFFIC IMPACTS AND SAFETY OF INTRODUCING TRUCK PLATOONING -ANALYSIS OF MERGING BEHAVIOR USING TRAFFIC MICROSIMULATION MODELS-

Yosuke IDA and Naohiko HIBINO

The shortage of truck drivers in the logistics industry has become increasingly serious due to avoiding overly long working hours, and there is an urgent need to improve the working environment. The introduction of towing cargo vehicles using electronic-connected technology is expected to be a solution to these problems, but various issues remain to be solved, such as the development of facilities such as formation bases and the establishment of driving operation methods. In order to establish a safe and smooth operation method for long strings of electronically-connected vehicles, this study focuses on situations where such vehicles merge with other vehicles near expressway on-ramps, which is considered to have a particularly large impact on the safety and smoothness of traffic flow. This study analyzed the impacts of electronically-connected vehicles on surrounding traffic near on-ramps when they merged, and the effects of measures to improve the safety and smoothness of traffic by using an analysis system developed by combining existing traffic simulation models.