



# 車両システムと交通システムの智能化とネットワーク化による将来交通システムの革新

Evolution of Mobility System Driven by Connectivity among Intelligent Cars and Traffic Systems

三田村 健 渡辺省吾 安藤敏之 貴志泰久



## 1. はじめに

内燃機関を動力とするシステムが発明されてから150年間近くにわたり、自動車はドライバーとその乗員にパーソナルで快適な空間と移動の自由を提供してきた。また物流面でも道路網の整備とともに地球上のどこにでも、効率良く物資を輸送することを可能としてきた。結果として人々の社会活動を促進し、経済発展に大きく貢献してきた。

一方で自動車は様々な社会的課題に直面をしている。まずはその移動に必要なエネルギー消費に関する課題である。消費される全ての原油エネルギーのうち自動車に関連する消費量は全体の約1/3の割合を占めている<sup>(1)</sup>。更にその消費量は今後倍増することが予想されている。この消費量を下げることが自動車の技術開発として避けることのできない課題である。また併せて排出物質（エミッション）による環境影響をいかに低減するかについても早期の対策が求められている。

一方地球全体の人口増を見てみると、2050年までに総人口が80億人を超えることが予想されている（図1）<sup>(2)</sup>。また増加する人口が都市部に集中し（図2）<sup>(3)</sup>、居住者数が1,000万人を超えるメガシティが現在の新興国を中心に増加することも予想されている。現在グローバルに存在するメガシティは28都市と言われているが、

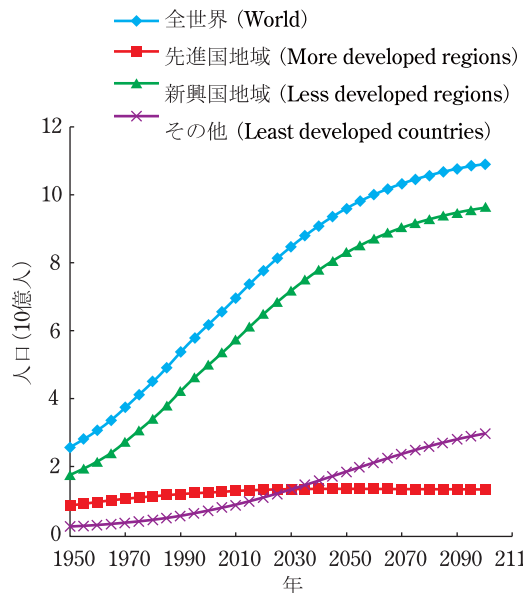


図1 世界人口予測 現在の新興国を中心に人口増加、2030年までに80億人を超えると予想されている<sup>(2)</sup>。

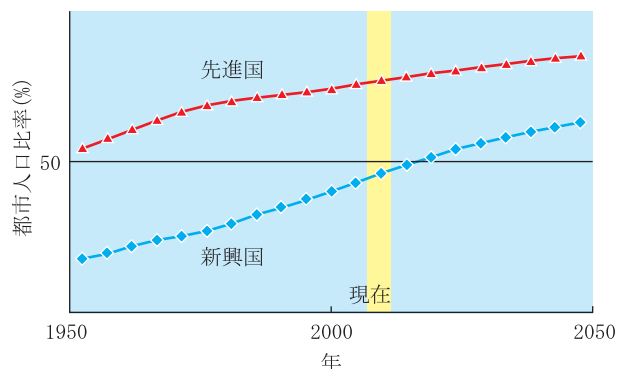


図2 世界人口の都市化 現在の新興国を中心に都市部に人口が集中。1,000万人を超える巨大都市、メガシティが増加することが予想されている<sup>(3)</sup>。

三田村 健 日産自動車株式会社総合研究所  
 E-mail t-mitamura@mail.nissan.co.jp  
 渡辺省吾 日産自動車株式会社総合研究所  
 E-mail seigo-w@mail.nissan.co.jp  
 安藤敏之 日産自動車株式会社総合研究所  
 E-mail t-andoh@mail.nissan.co.jp  
 貴志泰久 日産自動車株式会社総合研究所  
 E-mail Yasu-kishi@mail.nissan.co.jp  
 Takeshi MITAMURA, Seigo WATANABE, Toshiyuki ANDOH, and Yasuhisa KISHI, Nonmembers (Research Division, Nissan Motor Co., Ltd., Atsugi-shi, 243-0123 Japan).  
 電子情報通信学会誌 Vol.99 No.1 pp.2-8 2016年1月  
 ©電子情報通信学会 2016

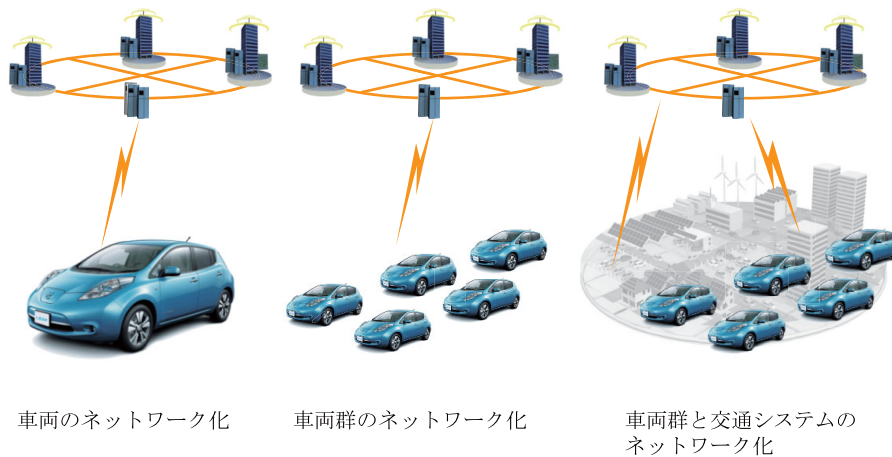


図3 知能化車両がネットワーク化された交通システムの実現 知能化車両システムで集めた情報を統合。移動エネルギー効率が高く、渋滞が抑制され移動時間効率が高くかつ安全な移動の実現を目指している。

この数が2030年には40都市以上になると予想されている。この結果、特に都市部を中心とした交通渋滞の劣化、また交通事故の増大が懸念される。交通渋滞による時間とエネルギーの浪費は、経済規模にすると全世界で年間44兆円、日本においては車両1台当り年間4万円の損失と試算されている。

これらの社会的に解決しなければならない諸課題を、車両システム、更にそれを包含する全体交通システムの知能化、すなわち動的に変化する複雑な交通状況を把握しそれに応じて車両自体の走行や、交通システム全体の運用状態を最適化することにより解決することに取り組んでいる。

そのための一つのアプローチとして、車両システム自体の知能化とクラウドシステムとのネットワーク化、知能化車両システム群のネットワーク化、更にはクラウドシステムを介した知能化車両システム群と交通システムとのネットワーク化により、交通システムとして適切な運行状態の実現を目指している(図3)。知能化車両システム自体をセンサノードとし集めた情報を統合することにより、交通システム全体の状態・環境を理解、結果として移動エネルギー効率が高く、渋滞が抑制され移動時間効率が高くかつ安全な移動の実現が可能である。

## 用語解説

**レーザレンジファインダ** レーザ光が物体に当たって反射してくる原理を用いて、測定領域にある物体の位置と形状を検出する計測装置。

**Ultra Wide Band (超広帯域無線)** 約10mの近距離でデータ通信や位置検出が可能な無線技術。広い帯域幅(1GHz程度)を使うため混信に強いのが特徴。

**ヨーレート** 車の垂直軸回りの回転角(ヨー角)の時間変化率(ヨー角速度)。ヨーレート変化が少ない方がスムーズな運転となる。

本稿では筆者らの研究事例で、自動運転に代表される知能化車両とそのネットワーク化(2.)、知能化車両群のネットワーク化(3.)、最後に知能化車両群と交通システムネットワーク化について紹介をする(4.)。

## 2. 知能化車両システムのネットワーク化

車両システム知能化の代表例の一つが自動運転システムである。自動運転システムとは人の行っている運転行動をエンジニアリングシステムで代替することであり、具体的には環境情報の取得とそれに応じた運転状況の理解、運転状況に応じた適切な運転行動の決定と計画、更にはその計画に基づく車両運動の実現と捉えることができる。図4に日産自動車の自動運転プロトタイプの例を示す。

自動運転車両を利用してユーザが目的地を指定、車両が自ら交通環境や状況を理解し移動するタスクをユースケースとして考える。

車両自身が安全に目的地まで移動するためには、他車はもとより歩行者や自転車などほかのロードユーザにも配慮した走り方が必要になる。更に目的地に至るルートの渋滞や気象条件、安全な速度で走行するために路面の滑りやすさなども考慮したルートを車両自らが選択することになる。乗り心地を重視して、路面凹凸が少ないルートを選ぶことも考えられる。

我々が目的地までのルートを考える場合、「今、この道は渋滞していて通過にどれだけ時間が掛かるかわからないので避けよう」、「今日は気温が低いから、この道は凍結している可能性があるのでもっとスピードを控えて走ろう」、「局地的な豪雨のため、ここアンダーパスは冠水している可能性があるのでもう回しよう」など、交通情報に関する様々なことを推測し、より安全なルー

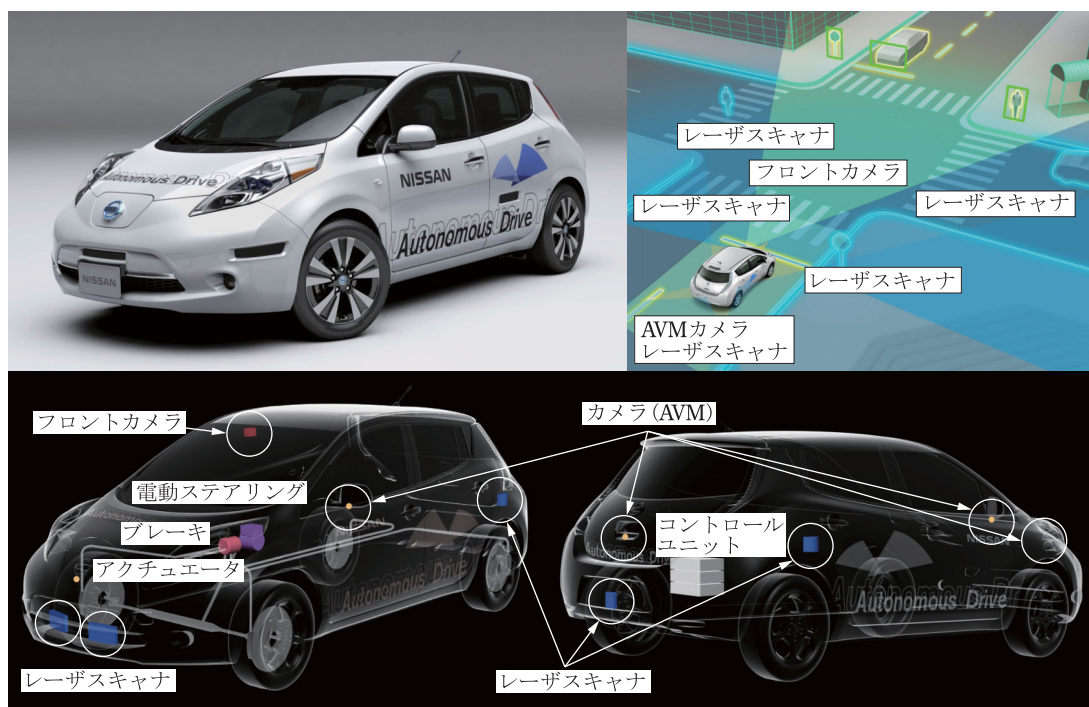


図4 自動運転プロトタイプ 車載センサからの計測データを統合し走行環境を理解、適切な行動を決定する。

トや走り方を考える。すなわち我々は関連するリアルタイム情報、過去の知見・経験を活用し、より安全にかつ所定の到着時間までに確実に目的地に到達するためのルート戦略を構築している。自動運転システムが同等の運転計画能力を構築するためには、各自動運転車両が自ら走行環境データを収集するとともに、他車とそのデータを共有する仕組みが必要になる。車々間通信・路車間通信・携帯通信網を活用したクラウドシステムへの接続である。

これら各自動運転車両から得られる走行環境データは、プローブデータとしてサーバに送信され、そこで他車でも使えるようにデータが加工・統合される。例えば、普通に走っているにもかかわらず、車両姿勢を安定化するVDC (Vehicle Dynamics Control) が作動した場合や、制動時にタイヤがロックしないようにするABS (Anti-lock Brake System) が作動した場合、その車両機器が作動した情報を位置情報や気温などの環境情報とともに共有することができれば、自動運転車両はその地点・経路が自車の走行ルートに入っているか否かを即座に判断し、気温が低いために路面凍結の可能性がある等を判断して、必要に応じて迂回ルートを自動設定できるようになる。プローブデータとして車両が収集する走行環境情報のみならず、大型ショッピングモールや公共施設で行われるイベントの情報も共有されれば、交通集中が予想されるエリアを避けて目的地まで行くルート設定も可能となる。このようなルート設定を個々の車両が行うことは結果的に、潜在的危険を避けたルートを走行す

る、または、交通分散を促すこととなり、事故やインシデントの危険を低減することに大きく貢献すると考えられている (図5)。

### 3. 知能化車両群のネットワーク化

本章では知能化車両を相互にネットワーク化し車両群として効率良くかつ安全に移動するための群走行制御について述べる。特に新たな試みとして生態模倣 (バイオミメティクス) アプローチで開発した制御ロジックをネットワーク化されたロボットカーに搭載した。そのロボットカーの群走行での移動効率向上効果の検証例について述べる。

#### 3.1 魚群に学ぶ安全で効率的な集団移動

集団で移動する際にお互いがぶつからず、かつ周囲の障害物を柔軟に回避して群全体が効率良く移動しなければならない。この背反する課題を解決するために水中を密集しながらもお互いにお互いぶつからずに効率良く集団で泳ぐことができる魚群の習性に着目した。

一般に魚は側線感覚と視覚により周囲環境を認識し、図6に示す三つの行動ルールに従って魚群を形成していることが知られている<sup>(4)</sup>。

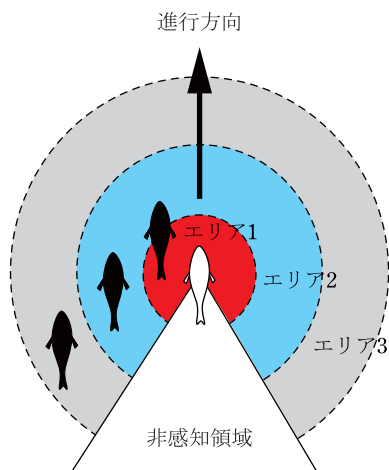
#### 3.2 魚群のルールのロボットカーへの実装

この三つの行動ルールを互いに通信が可能なネットワーク化された高さ約60cmのロボットカー EPRO





図5 自動運転システムとクラウドシステムのネットワーク化 関連するリアルタイム情報やプローブデータを利用した履歴情報を活用、安全で効率の良い移動を実現する。



- エリア1：衝突回避ゾーン  
仲間や障害物とぶつからないよう進行方向を変える
- エリア2：並走ゾーン  
仲間との距離を一定に保つために並走する  
(周囲と向きと速度を合わせる)
- エリア3：接近ゾーン  
仲間と遠すぎるため近づこうとする

図6 魚群形成の三つの行動ルール 一般に魚は側線感覚と視覚により周囲環境を認識し、三つの行動ルールに従って魚群を形成していることが知られている<sup>(4)</sup>。



図7 ロボットカー EPORO 魚群行動を模倣するために相互通信にてネットワーク化、周囲環境に柔軟に対応した安全で効率の良い群走行制御の検証を実施した。

機能はレーザレンジファインダ<sup>(用語)</sup>を用いて実装した。主にエリア2及びエリア3において並走・接近のために使われる視覚機能はパルス信号の送返信の時間差から相手の位置を計測し同時にデータ通信が可能な超広帯域無線(Ultra Wide Band<sup>(用語)</sup>)通信を使って実装した<sup>(5)</sup>。

### 3.3 評価

図8に示すような狭路や障害物を配置したコースにおいて、5台のEPOROによる群走行を行った。約9%の速度向上や約11%の時間削減による移動効率向上と約37%の平均ヨーレート<sup>(用語)</sup>低減による安全でスムーズな

に実装し、周囲環境に柔軟に対応して安全で効率の良い群走行制御の検証を行った(図7)。

開発にあたっては魚の感覚器官の代替として、主にエリア1において衝突回避のために使われる魚の側線感覚

群走行を確認した<sup>(6)</sup>。ヨーレートとは車の垂直軸回りの回転角（ヨー角）の時間変化率（ヨー角速度）であり、ヨーレートが低い方がスムーズな運転となる。将来、知能化車両群にこの技術を適用することにより、群の柔軟性と高密度な走行を両立、効率良くかつ安全で事故や渋滞のない交通流の実現が期待できる。

#### 4. 知能化車両群と交通システムネットワーク化

最後に本章では知能化車両群と交通システムのネットワーク化による交通システム全体最適化について述べる。

自動運転車両を交通システムが制御することによる渋滞緩和効果について交通シミュレータを用いた試算例を示す。

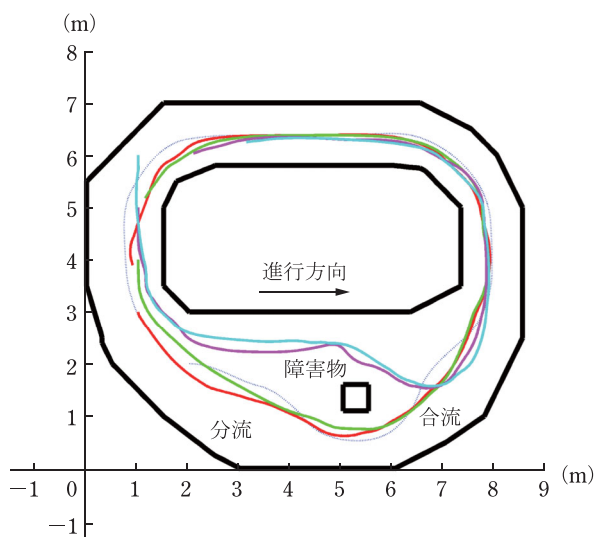


図8 EPORO 5台による群走行性能評価 約9%の速度向上や約11%の時間削減による移動効率向上と約37%の平均ヨーレート低減による安全でスムーズな群走行を確認した。

図9に想定するシステムのイメージを示す。高速道路上の交通状況は道路インフラや走行中の各車両からネットワーク経由で得られる情報（含む、車両からのプローブデータ）により交通情報センターがモニタ可能であり、走行中の自動運転車両システムには交通情報セン

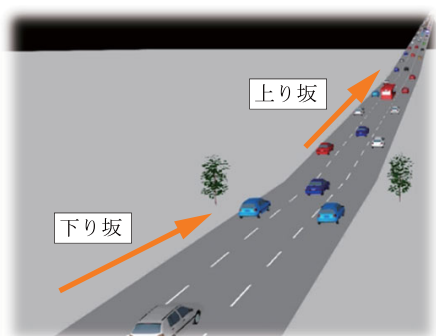
(例) 交通情報センター



(例) 速度情報



図9 交通情報システムとのネットワーク化例 交通情報センターから自動運転車両システムに最適速度情報を指示する。（出典：[http://www.e-nexco.co.jp/pressroom/image\\_gallery/library/images/etc/15.jpg](http://www.e-nexco.co.jp/pressroom/image_gallery/library/images/etc/15.jpg), [http://www.e-nexco.co.jp/pressroom/image\\_gallery/library/images/air/06.jpg](http://www.e-nexco.co.jp/pressroom/image_gallery/library/images/air/06.jpg)）



(VISSIM™)モデル

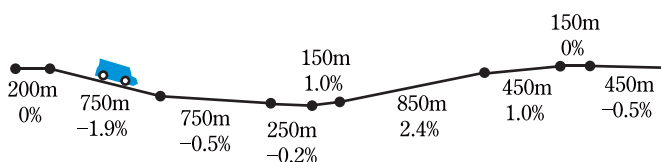


図10 東名高速道路 大和トンネル付近のサグ部のモデリング サグ部とはドライバーに認識されにくい緩やかな勾配で下り坂から上り坂に差し掛かるV形の形状である。特に高速道路においてはこの緩やかな勾配変化にドライバーが気付かず速度変化が起こり、交通量が多い場合に、上り坂部分を先頭に渋滞が発生する。

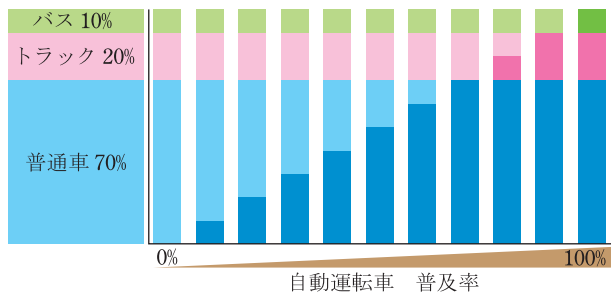
ターから交通状況に応じた最適速度情報が提供されることにより各自動運転車両の速度プロファイルを遠隔で制御できることを想定している。

試算は交通流シミュレータ VISSIM™ を用いて高速道路サグ部をモデリング、交通流に自動運転車両を混流しその運転速度プロファイルを操作することによる交通流の旅行速度（渋滞緩和効果）を試算した。今回は週末や長期連休時には渋滞が頻発する東名高速道路大和トンネル付近のサグ部をモデル化した（図10）。サグ部とはドライバに認識されにくい緩やかな勾配で下り坂から上り坂に差し掛かるV形の形状である。

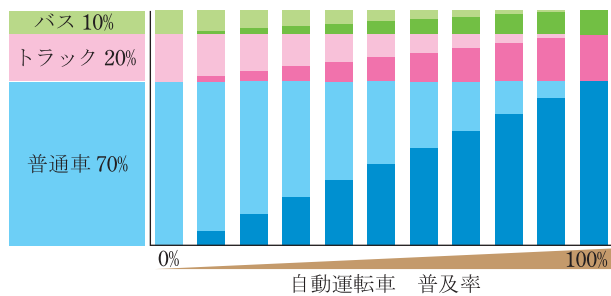
特に高速道路においては、この緩やかな勾配変化にドライバが気付かず速度変化が起こり、交通量が多い場合に、上り坂部分を先頭に渋滞が発生する。

高速道路上での交通流は普通車／トラック／バスの3種類の車両の混流であることを想定し、その台数比率を70%／20%／10%とした。自動運転普及率を交通流シミュレーションの実行条件パラメータとして設定した。またその普及シナリオを普通車⇒トラック⇒バスの順で普及するシナリオ（A）、及び普通車／トラック／バスが同時に同じ割合で普及するシナリオ（B）で試算を行った（図11）。

今回適用した交通流シミュレータ VISSIM™ はマイクロ交通流シミュレータであり、シミュレーションモデルに現れる各車両の速度や動作プロファイルを設定する



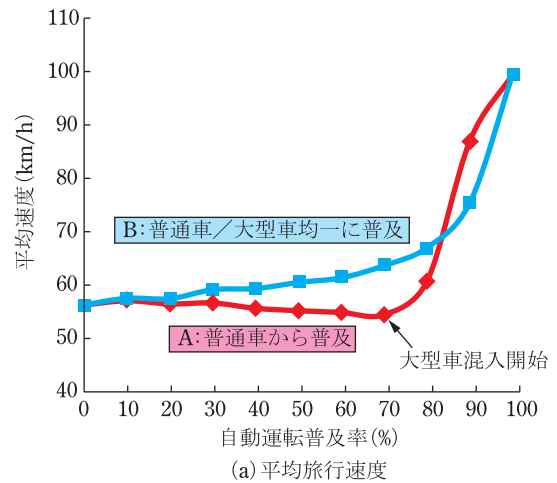
(a) A: 普通車から普及



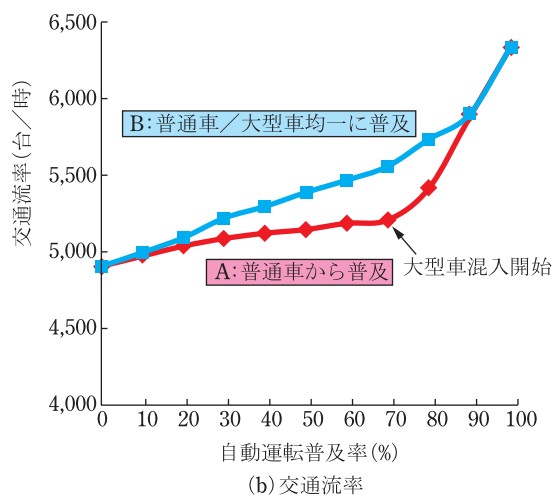
(b) B: 車種ごとに普及

図11 交通シミュレーション実行条件の設定 交通流は普通車／トラック／バスの混流であるとした。また自動運転車両が普通車から普及するシナリオ（A）、及び車種ごとに同じ割合で普及するシナリオ（B）で試算を行った。

ことが可能である。その特徴を利用し自動運転車両はその速度プロファイルを100 km/h±1%で設定し、交通情報センターからの最適速度指令値に応じた走行を簡易的にモデル化した。非自動運転車両の場合はその速度プロファイル設定を80~130 km/hとした。図12にシミュレーション結果を示す。平均旅行速度（km/h）及び交通流率（台/h）についてそれぞれ自動運転普及率に対する変化を示している。この二つの指標のうち平均旅行速度に比べ、交通流率の方が自動運転普及に対する改善効果が普及初期段階から現れている。また二つの普及シナリオの比較については、いずれの指標についてもシナリオBが自動運転普及率に対する改善効果が高く現れる傾向にある。一方シナリオAでは大型車（トラック及びバス）への普及とともに、改善効果が現れている。車両重量が普通車よりも大きく普通車に比べ加減速しにくい大型車への自動運転普及、すなわち運転速度平準化による交通流改善効果が高いことが示唆された。



(a) 平均旅行速度



(b) 交通流率

図12 自動運転車両による交通流への影響シミュレーション 普通車から普及するシナリオ（A）、普通車と大型車（トラック／バス）均一に普及するシナリオ（B）で比較。今回のシミュレーションでは大型車普及による改善効果が大きく観測された。



今回のシミュレーションモデルでは、自動運転車両が一定のスピードを維持することによる交通流改善効果を試算したが、将来技術としてはリアルタイムの交通状況に応じて交通情報センターがきめ細かく各自動運転車両の制御を遠隔で指示・操作することも可能である。2.でも述べたように各車両からの情報、道路インフラからの情報を集約、これらを過去の履歴情報と併せて分析することで交通システムの状態を把握・予測することが可能である。更に交通情報や周辺で予定されているイベント情報等を加味しその影響を考慮、交通システムの状態をより精度良く予測することも求められる。

## 5. ま と め

自動運転車両に代表される知能化車両システムをネットワーク化し、集めた車両情報を統合し更に交通システムと統合することによる移動エネルギー効率が高く、渋滞が抑制され移動時間効率が高くかつ安全な移動の実現を目指した筆者らの取組みの一部を紹介した。これらの取組みは最終ゴールである、車両システムのみならずネットワーク化された交通システム全体最適化の実現に対しては、まだ端緒に着いたばかりである。

将来都市交通システムに求められる機能として、4.後半で述べた実時間で取得可能な車両データやその履歴データ、更に交通システムに間接的に影響を与える天候情報等の様々な属性のデータを考慮し、かつ高精度に交通状況を予測、その予測に応じて交通システム全体を正確にコントロールすることが想定できる。

そのためにはいわゆる Big Data を分析し、その結果を踏まえて複雑で様々な異なるシステム要素を含むネットワークシステムである交通システムのモデリング及び実時間でのシミュレーション技術が求められる。異なるシステム要素とは道路ネットワークのみならず、人の移動に影響を与える鉄道等の公共交通機関ネットワークや更に移動に必要なエネルギー供給ネットワーク等を含む。

更に前提としている実時間でのデータ取得を可能とする高速通信ネットワーク技術の実現も必須である。

これらの技術は我々自動車研究の現在の主研究領域を超え、情報通信技術、データ分析技術・シミュレーション技術、それらを支えるモバイルコンピューティング技術等、広範囲で様々な技術分野との連携及びシステム統

合が必要である。自動車システム研究に携わるものとして今後これらの技術領域の方との将来ビジョンを共有した研究の取組みにより、世界に誇れる将来交通システムの協創 (Co-creation) に参画させて頂くことができれば望外の喜びである。

## 文 献

- (1) International Energy Agency, "Global transport outlook to 2050," 2013, [https://www.iea.org/media/workshops/2013/egrdmobility/DU\\_LAC\\_23052013.pdf](https://www.iea.org/media/workshops/2013/egrdmobility/DU_LAC_23052013.pdf)
- (2) United Nations, World Population Prospects 2012 revision, 2012, [http://esa.un.org/unpd/wpp/unpp/panel\\_population.htm](http://esa.un.org/unpd/wpp/unpp/panel_population.htm)
- (3) United Nations, World Urbanization Prospects 2014 Revision, 2014.
- (4) I. Aoki, "A simulation study on the schooling mechanism in fish," Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, vol. 48, pp. 1081-1088, 1982.
- (5) 中川樹生, "1 cc 超小型 UWB センサノードの開発," 信学技報, SIS2006-55, pp. 47-51, Nov. 2006.
- (6) 藤田 晋, "魚群ルールを適用した柔軟に環境適応する群走行制御," 自動車技術学会学術講演会前刷集, 2010 年春季大会, no. 69-10, pp. 1-6, 2010.

(平成 27 年 8 月 3 日受付 平成 27 年 8 月 30 日最終受付)



み た む ら た け し  
三田村 健

1990 慶大大学院理工学研究科物理学専攻の後、日産自動車株式会社中央研究所に入社。半導体 MEMS センサ、コックピットインタフェース研究に従事。現在、日産自動車総合研究所モビリティ・サービス研究所所長。



わた な べ せい こ  
渡辺 省吾

1996 東大・工・計数卒。1998 同大学院修士課程了。同年日産自動車株式会社入社。以来、環境認識・運転支援・自律移動システムの研究開発に従事。現在、同社総合研究所主管研究員。



あ ん だ う と し ゆ き  
安藤 敏之

1987 筑波大・情報卒後、日産自動車株式会社に入社。以来、環境認識・自律移動研究に従事。CEATEC JAPAN にて、2008~2009 ぶつからないロボットカー「BR23C」や群走行ロボットカー「EPORO」を公開。2013 自動運転車の走行デモを実施。



た か し や す ひ さ  
貴志 泰久

1991 鳥取大・工・社会開発システム卒。同年日産自動車株式会社交通研究所入社。交通流シミュレーション、渋滞改善研究に従事。現在、同社総合研究所モビリティ・サービス研究所所属。1994 年度交通工学研究会研究奨励賞受賞など。