

交通流とITS技術

Traffic Flow and ITS Technologies

津川 定之
産業技術総合研究所 ITS研究グループ
E-mail: tsugawa.s@aist.go.jp

Sadayuki Tsugawa
ITS Research Group, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

概要 ハイテクを用いて実効道路容量を増加させ渋滞を解消することは、ITS (Intelligent Transport Systems, 高度道路交通システム) の主要な目的の一つである。本稿では、前半でITSのサーベイを行い、後半でITS技術が交通流に与える影響について紹介する。渋滞を考慮して道案内を行う動的経路誘導では、道路ネットワーク内の交通流の最適化を計ることが可能となる。また、車間距離を小さくして車両のプラトーン走行を行うと、道路のスループットを飛躍的に高めることができ、このような交通流の解析には、従来の交通流理論とは異なった交通流理論が必要となる。

1. まえがき

自動車は、20世紀のトップランナーとして産業と経済の大きな牽引力となっただけでなく、もはや我々の生活に必要不可欠のものとなっている。その反面、自動車は、事故、渋滞、環境汚染、エネルギー消費という重大な問題を惹起している。わが国では、年間死者数はここ数年はおよそ10,000人弱で推移し、大幅な減少の兆しはみえない。渋滞による経済損失は、日本国内で年間12兆円と推定されている。さらに、燃料の11%が渋滞で浪費されており、自動車からの炭酸ガス排出量は、わが国の全排出量の20%近くを占めている。

ITS (Intelligent Transport Systems) は、わが国では高度道路交通システムと訳しているが、エレクトロニクス、センシング、制御、情報通信などのハイテクを用いて、20世紀の負の遺産と称される上述した自動車交通問題を解決する道路交通の知能化システムである [1][2][3]。わが国だけでなく世界各国でITSに関する

大規模な国家プロジェクトが行われているのは、自動車交通問題の解決がもはや従来の解決方法では困難あるいは不可能となっているからである。

世界各国でITSに大きな関心もたれているもう一つの理由は、ITSが新しい産業の創出と雇用機会の拡大の可能性をもっていることにある。わが国での試算は、2015年までに国内で累計60兆円規模の新たな市場が創出されるとしている。

ITSは、大小多くのシステム、サブシステムを含んでいる。米国連邦運輸省の諮問機関として1990年に組織されたITSアメリカ (Intelligent Transportation Society of America) は、ITSに含まれるシステムを、表1に示すように、縦断的なATMS, ATIS, AVCSSと、横断的なCVO, APTS, ARTSの6分野に分類している。概してATMSは成熟、ATISは実用化が進行中、AVCSSは研究の段階にある。わが国では、表2に示す9つの開発分野とその中に自動運転を

はじめとする21の利用者サービスを定めている[4]。これらの分野や利用者サービスの集合をITSとよぶこともできる。近年になって特にヨーロッパでは、ITSを陸海空における人と貨

表1 ITSアメリカによるITS関連システムの分類

システム	含まれるシステムの例
ATMS (Advanced Traffic Management Systems)	信号制御, ETC
ATIS (Advanced Traveler Information Systems)	経路誘導, カーナビ
AVCSS (Advanced Vehicle Control and Safety Systems)	運転支援, 自動運転
CVO (Commercial Vehicle Operations)	物流
ARTS (Advanced Rural Transportation Systems)	公共交通機関の情報化
ARTS(Advanced Rural Transportation Systems)	地方・僻地のITS

表2 わが国が定めた9つの開発分野

開発分野
1. ナビゲーションシステムの高度化
2. 自動料金収受システム
3. 安全運転の支援
4. 交通管理の最適化
5. 道路管理の効率化
6. 公共交通の支援
7. 商用車の効率化
8. 歩行者等の支援
9. 緊急車両の運行支援

物のより安全で効率的なモビリティを提供するシステムと考えている。

本稿では、実効道路容量を増加させ渋滞を解消する二つのシステム、経路誘導システムと運転支援・自動運転システムを交通流の観点を変えて紹介する。

2. 経路誘導システム

世界初の経路誘導システムは、1968年から米国で開発されたERGS (Electronic Route Guidance System) である。ERGSは路車間通信(車と道路の間の個別局所通信)を用いた静的な(渋滞を考慮しない)経路誘導システムで、ワシントンDCでの小規模実験にとどまった。通商産業省工業技術院が、1973年から大型プロジェクトで開発したCACS (自動車総合管制システム, Comprehensive Automobile traffic Control System) は、世界初の動的な(時々刻々の交通状況を考慮した)経路誘導システムで、東京都心で1977年から1年間パイロット実験が行われた。図1にその構成を示す。1996年に世界で初めてサービスを開始したわが国のVICS (Vehicle Information Communication System) の構成は、本質的にCACSと同じである。CACSが実用化されなかったのは、車載装置が先か、道路側装置が先か、という「鶏と卵」問題が解決されなかったからであり、

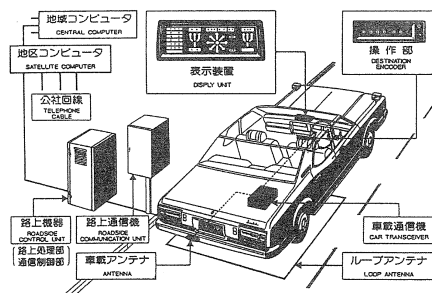


図1 CACSの構成

VICSが実用化されたのは、カーナビゲーションシステムの普及によって「鶏と卵」問題が解決されたからである。

CACSにおける経路誘導[5]は、OD間の最短旅行時間を評価関数として行われた。動的経路誘導を行うために、15分後までの旅行時間を予測し、路上処理部の経路誘導情報はセンターから15分ごとに更新した。旅行時間の予測方法は、蓄積された過去のデータを当日のデータで修正する方法がとられた。また、最短時間経路は、古典的なラベリング法に拠っている。東京都心での実験では、旅行時間20分ないし30分のOD対4組について、誘導車は、非誘導車に比べて旅行時間が平均11%短縮されている[6]。

3. 運転支援・自動運転システム

ITSに関する研究のうち最も早期に始まったのは自動運転システムの研究である。オートメーションの導入による事故と渋滞の本質的解決策として1950年代後半に米国で提案された。最初の自動運転システムは、道路に誘導ケーブルを埋設して車両を誘導するガイド式で、米国をはじめ、イギリスやドイツ、わが国でも研究が行われている。

1970年代に入って、道路側に特殊な設備を必要としない、マシンビジョンを用いた自律型自動運転システムの研究がわが国で始まった。1977年に機械技術研究所は世界初のマシンビジョンによる自動運転システムを開発した。

1980年代後半から先進国を中心に開始されたITSに関する大規模プロジェクトでも自動運転は取り上げられており、単独車両だけでなく、複数台の自動運転車両を小さな車間距離で走行させるプラトーンの自動運転システムの研究が行われている。プラトーン走行では、自動操舵(ラテラル)制御によって車線幅を小さくすることができ、同じ道路幅により多くの車線を設けることができる。また自動車間距離・速度(ロンジチュージナル)制御によって車線当たりのスループットを大きくすることができる。したがって、自動プラトーン走行では、道路の横方向にも縦方向にも実効道路容量を増すことができ、渋滞の発生を防ぐことが可能となる。図2はカリフォルニアPATHが1997年にサンディエゴのデモで公開したプラトーン走行で、8台の乗用車が自動運転で速度96 km/h、車間距離6.3 mで



図2 カリフォルニアPATHのプラトーン走行 (PATH提供)

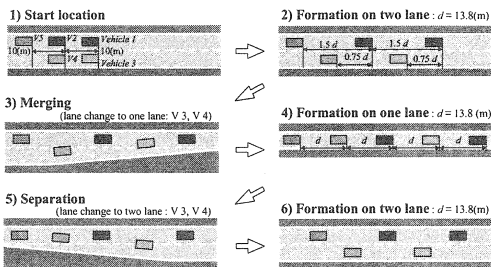


図3 協調走行におけるフォーメーションの変化

走行している。PATHでは、プラトーン走行によってスループットを現行の2000台/車線/時からその2ないし3倍に上げることが可能としている。PATHの自動運転は、路面に設置した磁気マーカーを用いてラテラル制御を行い、レーダで測定した車間距離と車車間通信でロングitudinal制御を行っている。

筆者らは、複数台の自動運転車両を用いて柔軟なプラトーン走行の研究を行った[7]。PATHのプラトーンとは異なって、車両群が、柔軟に車線変更、合流、分離を行って走行した。図3は、車群が車線の数に応じて柔軟にフォーメーションを変化させる状態の説明図であるが、図4は、このフォーメーション変化のアルゴリズムに従って、合流によって2列のプラトーンが1列のプラトーンに変化しているシーンである。筆者らの自動運転では、DGPSで車両の位置を精密に求め、各車の位置や速度、レーザレーダで計測した障害物までの距離のデータを車車間通信で送受してラテラル制御、ロングitudinal制御、フォーメーション形成を行っている。

自動運転システムではないが、速度の自動制御システムがクルーズコントロールとして1960年代に商品化されている。このクルーズ

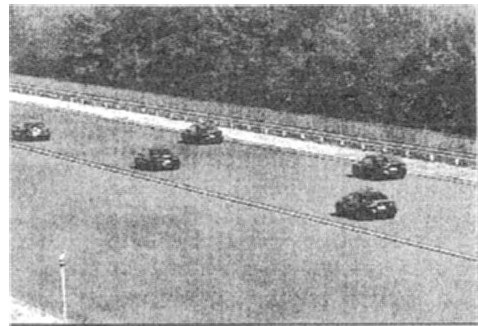


図4 協調走行における合流シーン

コントロールは、ドライバーがアクセルを踏まなくても、設定した車速(一定)で車を走らせることが可能なシステムである。1990年代になって、先行車との車間距離や相対速度に応じて自車の速度を制御するアダプティブクルーズコントロール(ACC)が商品化された。ACC(Autonomous ACC, AACC)では後続車からレーザレーダやミリ波レーダを用いて車間距離と相対速度を計測するだけであるが、さらに車車間通信によって先行車の加減速度を後続車に送信してより精密に車間距離・相対速度制御を行う協調的ACC(Cooperative ACC, CACC)の提案や実験が行われている。

ACCとCACCは、交通流や実効道路容量に影響を与えることが指摘されており、いくつかのシミュレーション研究がある。ここではカリフォルニアPATHで行われたシミュレーション[8]を紹介したい。

このシミュレーションでは、平均車速を29 m/s、標準偏差を4.5 m/s、ヒューマンドライバの平均車頭間時間を1.1 sec、その標準偏差を0.15 sec、AACCにおける車頭間時間を1.4 sec(一定)、CACCにおける車頭間時間を、CACC車に追従する場合は0.5 sec(一定)、そうでない場合は1.4 sec(一定)とし、モンテカルロシミュレーションでAACC車、CACC車の普及率とスループットの関係を求めている。その結果は、交通量は、AACCとCACCの普及率が0%のときは2100台/h、CACCの普及率が0%でAACCの普及率が40-60%のとき2250台/hで最大、普及率100%で逆に2150台/hに減少する。AACCに代わってCACCが普及すると、交通量は普及率に伴って増加し、CACCの普及率100%で交通量は4250台/hとなる。このシミュレーションの結果は、AACCでは道路容量は増えないが、CACCでは、車間距離を小さくすることが可能となり、道路容量が増えることを

示している。

4. あとがき

ITS技術と交通流の係わりについて、経路誘導システム、自動運転システム、アダプティブクルーズコントロールを例に取り上げて紹介した。動的経路誘導システムが広範囲に行われると、従来の時間比原則、等時間原則に基づく交通量配分[9]が成立しなくなり、ACCや自動プラトーン走行が行われると、交通流理論で有名な $q-v$ 曲線が成立しなくなる可能性がある。渋滞を解消するためのITS技術は、新たな交通工学や交通流理論を必要としていると筆者は考えている。

参考文献

- [1] SCIA編：“ITS”，アサヒオリジナル，朝日新聞社，1998.
- [2] 高羽編：21世紀の自動車交通システム，工業調査会，1998.
- [3] 藤岡，鎌田編：自動車プロジェクト開発工学，技報堂出版，pp.63-116，2001.
- [4] 警察庁ほか：高度道路交通システム（ITS）に係わるシステムアーキテクチャ，1999.
- [5] 通商産業省工業技術院編：自動車総合管制技術の研究開発，(財)日本産業技術振興協会，pp.34-40，1979.
- [6] *ibid.*， pp.361-372.
- [7] S. Kato, et al.: Vehicle Control Algorithms for Cooperative Driving with Automated Vehicles and Intervehicle Communications, IEEE Trans. ITS, Vol.3, No.3, pp.155-161, 2002.
- [8] J. VanderWerf, et al.: Evaluation of the Effects of Adaptive Cruise Control Systems on Highway Traffic Flow capacity and Implications for Deployment of Future Automated Systems, 81th Annual Meeting of the Transportation Research Board, 2002.
- [9] 佐々木（監修），飯田（編著）：交通工学，国民科学社，pp.78-91，1995.