

1. はじめに

環境問題はかなり広い分野で、大気汚染、騒音、振動、ゴミ処理問題など、各種の社会問題を含み、その影響も地球規模で考えなければならないものや限定された地域における影響など様々である。したがって、その対策にも中長期的な都市構造の改造、道路の改良などから短期的な交通運用策まで幅広い。本稿では既存施設の有効利用ということで、短期的な交通運用策を中心にして、交通渋滞対策における ITS の活用の場を探る。

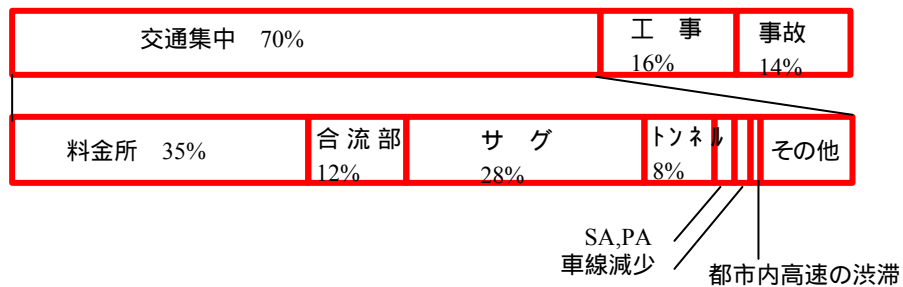
渋滞が発生すれば、速度が低下する。(社)日本自動車工業会¹⁾によれば、平均車速が 30km/h から 10km/h に低下すると CO₂ も NO_x も約倍に排出量が増えるとされている。また、渋滞によって無駄に消費されている燃料は、自動車の年間燃料消費量の約 11% と推計され²⁾、渋滞対策は車両の燃費向上、物流の合理化と並んで CO₂ 削減に大きく貢献する。

ITS としては現在、AHS (Automated Highway System)、VICS (Vehicle Information and Communication System)、ATIS (Advanced Traffic Information System)、ETC (Electronic Toll Collection) などのシステムが研究開発及び実用化されつつあるので、これらのシステムあるいは関連技術がどのように環境改善へ活用できるのかを探る。

2. 高速道路の渋滞

(1) サグ、トンネルにおける自然渋滞

平成 7 年中の都市間高速道路における渋滞原因を示したのが図 1 である。全体の 70% をしめる交通集中渋滞のうち、36% が縦断勾配の変化するサグやトンネル入り口における自然渋滞である。休日の大都市周辺の都市観光測道路でよく観察される渋滞である。縦断勾配の変化にドライバーが気づかないために、上り勾配でわずかな減速が起こる。交通量が多くなると、それが引き金になって、渋滞が追い越し車線から発生する渋滞現象である。トンネルにおいても、暗く狭いトンネル空間にさしかかるところで、ドライバーがわずかに減速するために同様に渋滞が発生する。このような自然渋滞の特徴は、いったん渋滞が始まると容量が非常に低く、それが渋滞経過とともにさらに減少してしまうことである。渋滞開始時の容量は 2 車線当たり、3500 台 / 時程度であるが、渋滞後は 2700 台 / 時程度に激減する。この値は、通常交通容量の約 70% 程度にすぎない。



注：渋滞長 2 km 以上または渋滞発生回数 30 回 / 年以上 (平成 7 年)
 % は渋滞発生件数の割合³⁾

図 1 都市間高速道路の渋滞原因

このように容量が非常に小さいのは、渋滞先頭における緩慢な加速が原因である。長い渋滞に巻き込まれると、何度もの stop-and-go を繰り返すうちに前を走る車の動き、特に加速、に対する感度が次第に鈍くなってしまふ。さらに自然渋滞では、合分流や車線減少などが何もない単路部で発生するので、ドライバーは渋滞の先頭がどこなのかははっきりわからないことが多い。従って、交差点での発進とは違って、渋滞の先頭に達しても、ただだらと緩慢な加速を行ってしまう。

自然渋滞の発生原因は、ドライバーが無意識に減速してしまうことにあるので、それを補うような加速を自動的に行ってくれるシステムが渋滞回避には有効である。さらにやむを得ず渋滞してしまった場合であっても、緩慢な加速を改善する手段として AHS (Automated Highway System) が期待されている。AHS は information、control、automated cruise の 3 段階で順次開発されているが、最終段階である完全自動運転 (automated cruise) でなくても、速度と車間距離を制御する control システムでも、サグ・トンネルにおける減速と渋滞先頭における緩慢な加速の防止には効果的である。既に開発されている ACC (Automated Cruise Control) などを搭載した車両の普及率と渋滞回避の可能性、ボトルネック容量との関係も研究されつつある⁴⁾。

(2) 料金所における渋滞

渋滞原因の 2 番目は料金所における渋滞で、35%をしめている。料金所では料金支払いのために一旦停止してから再び加速するために、容量上のボトルネックになる。車と路側に設置された機器との双方向通信によって自動的に通行料金を徴収する自動料金収受システム(ETC, Electronic Toll Collection)は、この渋滞を改善することを直接の目的として開発されているシステムである。建設省と道路 4 公団で「ノンストップ自動料金収受システム共同研究推進委員会」が設立され、民間企業の 10 のコンソーシアムによる共同研究が平成 6 年度から始められている。図 2 は小田原料金所での ETC 実験風景であるが、ETC は平成 11 年度中には運用開始の予定である。

ETC の主要機器は、路側ビーコンと車との間の路車間通信機器で、車両 ID、旅行時間、走行経路、残金、利用履歴などの情報が交信される。車両には車載器が積載され、これには通信と料金決済の両機能を一体化した 1 ピース型、決済機能を本体から分離して IC カードに受け持たせる 2 ピース型が提案されている。

このように料金が自動的に収受できれば、高速道路利用券の発券や係員による料金徴収ブースが必要ではなくなるので、これらブース設置のために広い用地と複雑な構造を持っていたインターチェンジが簡素化される。従って、インターチェンジを密な間隔で建設できるために、高速道路上の交通量が減って渋滞が緩和される効果もある。さらに、自動料金収受システムに使われている路車間双方向通信技術を用いれば、柔軟な料金体系の導入が可能であり、TDM (ロードプライシング、予約制など)、路上駐車管理、流入規制などにも応用可能な技術である。



図 2. 小田原料金所での ETC 実験風景

海外では 1980 年代後半からトロンドハイム有料道路、オーレサンドトンネル(ノルウェー)、リンカー

ントネル(アメリカ合衆国)を皮切りに、既に 30 ほどの ETC システムが運用されている。その多くは、均一料金制の有料道路に適用されたプリペイド方式であるが、1990 年に導入されたイタリアの高速道路アウストラードのように均一・対距離両用のポストペイド方式の ETC システムもいくつか見られる。アジアでも図 3、4 のように 1994 年にマレーシアに均一・対距離両用のプリペイド方式のシステムが、また Australia でも最近 ETC が導入されている。



図 3. マレーシアの ETC (PLUSTAG)



図 4. オーストラリアの ETC (T-PASS)⁵⁾

これからの実用化に向けての課題としては、まず ETC システム上の課題として、様々なトラブルが発生した場合の処理を如何に効率的に確実に行うかという点がある。また、路車間通信あるいはコンピューターネットワークによって個人属性に関する情報、移動に関する情報、料金決済情報などが流れるため、プライバシーの保護とセキュリティー確保が非常に重要な課題となっている。さらに、料金決済の方法として、均一料金と対距離料金制の両方に対応できること、多様な車種区分に対応できること、経路によって通行料金が違う場合があるので、経路を把握する機能を有することなどの問題点が検討されている。ETC がすぐに全車両に積載されるわけではないので、かなりの期間は従来のように現金、ハイウェイカード、クレジットカード、回数券を利用する車両と ETC 車の混在運用とならざるをえない。料金所のブースを ETC 専用と従来型の 2 種類に分けることに加えて、1 つのブースで両方の車を扱えるようにする混在車線の設置も計画されている。

車載器を如何に普及させるかが ETC 成功の鍵を握っている。ETC 設備をインフラ側で整備しても、車載器が普及しなければ宝の持ち腐れで、車載器普及のインセンティブをどの様に与えるかが大きな課題である。まず、車載器自体が安価でなければならない。今のところ、車載器の値段は 2 万円前後ということで、

かなり普及が期待できる価格ではないだろうか。さらに、ETC車には通行料金を割安にするなどの優遇措置も考えられる。ETC車は渋滞緩和、環境改善に貢献しているのであるし、もっと言えばETC車によって渋滞が緩和された恩恵を一般車も享受しているのであるから、一般車の通行料金に比べてETC車を割安にという論理も成立する。

ETCシステムに付加価値を付けて、普及を促進する方法もある。道路通行料金以外の料金も支払えるように機能の拡大を計ることが考えられる。特に、ETCの車載器が2ピース型であれば、本体からICカードが取り外せるために、他の用途に利用するには便利であろう。車だけでなくバス・鉄道など各種の交通機関を適切に組み合わせて利用していこうという“インターモーダル”な社会の実現には、ICカードを公共交通機関の料金収受用機器としても利用できるようにしたい。

逆に、インフラ側の整備も効率的に行わなければ限られた料金所ではETCを利用できなくなり、普及促進にはつながらない。現在の料金所の構造をなるべく変えないままノンストップレーンを設置するなどのように、既存施設を有効に利用しながら、インフラ整備を効率的に進めることが必要である。

3. 一般街路における渋滞

渋滞の特徴的な点は、時間的に超過需要が累積するので、わずか10%程度の超過需要でも大渋滞を引き起こしてしまうことである⁶⁾。このことは裏を返せば、わずかの容量増大策や需要調整によって、渋滞が大きく軽減できることを示唆している。東京都心部の日中の渋滞原因を調査した経験があるが、半数以上の渋滞が路上駐車が原因であり、続いて信号調整が適切でなかったことが主な原因としてあげられた⁶⁾。

(1) 路上駐車管理

路上駐車による交通容量の阻害率は、駐車位置、車線幅員、右左折率、大型車混入率、信号制御等によって変わるものの数10%のオーダーであり、超過需要の高々10%という値よりも明らかに大きく、渋滞への影響が大きいことは明らかである。車を使えば必ず駐車場所が必要であり、都市・地域の計画方針と合致すれば、路外の駐車場整備とあわせて路上も需要に応じて臨機応変に駐停車場として利用すべきであろう。

ITS技術は、時間と場所についてダイナミックな駐車規制とそれを担保する効率的な取締りの達成に貢献できるであろう。ダイナミックに規制時間・場所を変えることは、現在の交通センシング技術、通信技術を用いれば技術的にはそれほど難しいことではない。取り締まりにも、AVIによる車両識別やETCやVICSに使われている路車間の双方向通信技術を応用すれば、駐車違反をしている車両を特定し、違反車両から反則金を自動的に徴収することができる。このように、ある時間は駐車禁止、またある時間は短時間駐車だけは認める、あるいは駐車料金を課すなど様々な駐車管理策を実行することが可能であろう。

問題は制度上の課題であり、特に使用者責任と所有者責任の問題がある。わが国の法では違反に対して、車の特定だけでなく違反を犯した運転者を特定することが要求される。諸外国の例にもあるように、車の所有者責任を認める方向に法律を変更するか、運転免許のIC化などによって運転者を特定できるようにするといった制度上の環境整備を計る必要がある。

東京8区において推定した路上駐車による損失は、少なく見積もっても500億円/年であり⁷⁾、ITSの活用の上場としては最もニーズの高いところではないだろうか。現在のところ、ITSの技術的シーズはあるものの、制度的な障壁によって路上駐車管理にITSが活用される動きが少ないことは残念である。

(2) 信号制御

交差点は、異なる方向の流れが交錯するために、よく渋滞が発生する場所である。交差点で捌くことが

できる容量は、わずかの信号の秒数調整によって10%、20%は簡単に変わることが知られており、信号制御の高度化が渋滞緩和に大きく寄与することは疑う余地がない。

ITSが信号制御の高度化に貢献する大きな理由は、最新のセンシング・通信技術にある。AVI装置、ビーコンといった車両センシング、路車間通信装置によって、信号制御には欠かせない各種の情報が入手できる。制御に必要な情報の第1は、制御の評価指標となる遅れ時間情報である。一般に、信号制御は遅れ時間を最小にするように制御されるが、路車間の双方向通信やAVI装置によって、個々の車両の旅行時間が計測できるので、評価指標である遅れ時間が直接計測可能になる。

第2に、制御のためには交通需要を把握することが必要となる。双方向通信機能と車両感知機能を組み合わせることによって、個別交差点の各流入路の方向別の交通需要や面的に広がった対象地域全体の需要パターンの推定(ODや経路の計測)も車載器の普及が進めば可能である。また、飽和交通流率といった制御の最適化に欠かせない諸量を精度よく計測することも可能となる。

信号制御についてはこのようにITSによって多くの必要情報が得られることが期待できる。また、先に述べたAHSによって発進ロス時間の削減や飽和交通流率そのものを向上させることも期待できるであろう。このように制御を取り巻く環境は変化しつつあるが、一方どのようにこれら情報を活用して制御を行うのかといった次世代の制御ロジックの提案は少なく、今後の研究が待たれるところである。

4. 需要調整策におけるITSの活用

信号制御や路上駐車をコントロールして道路を通過できる車両の量(容量)を大きくするだけでなく、道路を上手に利用するという視点からは、需要をコントロールすることも必要である。短期的な需要の調整には、トリップの出発時刻を調整するような時間的な調整、経路を変更する空間的な調整、そして利用する交通機関を変更するモード調整がある。

(1) 時間調整

道路を単位時間当たり通過できる交通容量には上限があり、おおよそ1時間当たり2000台/時/車線である。ある道路に通過しようとする車が一齐に押し寄せれば、容量を上回る需要のために渋滞が発生してしまう。したがって、容量を上回らないように需要を時間的にコントロールしてやれば渋滞は防げるはずである。しかも、重要なことはトリップの出発時刻を変更したとしても、以前と同じ時刻に渋滞を抜けることができるのであるが、このことは意外と理解されていない。

仮にこちらの思いどおりに需要を時間調整できたとしたら、どのくらいの量の需要を何分くらい時間調整すべきであろうか。首都高湾岸線(西行き)の葛西では、毎朝のように約5~6キロの渋滞が起きているが、平均10分程度のトリップ時刻の変更で渋滞がほぼ解消できるという試算結果を得ている⁸⁾。また、冬季の関越高速道路においても、毎週末の午後にスキー帰りの車による6時間にわたる20~30キロにも及ぶ渋滞が起きているが、全利用者が時刻変更をしてくれるならば最大20分程度で渋滞解消、50%の利用者のみが時刻変更する場合でも最大30分程度で渋滞が解消できる見込みである⁹⁾。現状の需要を捌くのであれば、以外とわずかな時間調整で大きな渋滞削減効果が期待できそうだ。

ITS技術を時間調整に活用しようとした場合に、効果的でしかも実行しやすいものとしては情報提供があるだろう。ラジオ、テレビ、電話、VICS、ATISなど各種あるものの、そのほとんどが現時点での交通状況を提供するものであり、トリップの時刻を変更するための情報としては不十分である。トリップの時刻を変化させるためには、時刻によって交通状況がどの様に変化するのかを情報として提供する必要がある。過去・現在・将来の交通状況を提供すればよいのであるが、こと将来の状況となると正確なことは誰にもわからない。それならば、昨日の交通状況、1週間前の休日の交通状況といった過去の事実を提供するという方法もある。この他、車の運転者への情報提供だけでなく、自宅、スキー場や観光地などの目的地におけるプレ・トリップ情報の提供も時間的に需要を調整するためには欠かせない。

経済的な手段によって需要をコントロールするロードプライシングや旅行予約制などの検討も行われて

いる。ロードプライシングは、需要が集中する時間帯に通行料金を割高にして集中を防ごうとする政策であり、旅行予約制は、電車や飛行機の座席の予約のように通行時間を予約させ、渋滞が起きないように予約量を調整するものである。予約して通行してくれる利用者には、予約なしに比べて、通行料金を割り引くなどして予約制に参加するインセンティブを付けるので、予約という行為とロードプライシングを組み合わせた政策と考えてよいだろう。旅行予約制は、必ずしもすべてのトリップ目的に適用できるとは限らない。通勤目的などのように人によって時間の制約が異なるようなトリップ目的に適用するのは難しいかもしれない。その点、時間制約の緩い観光目的のトリップには積極的に適用し、スキー帰りの渋滞緩和などに貢献することが考えられる。ここ2年にわたって、都市間高速道路の観光目的のトリップのみを対象に旅行予約制についてアンケートしたところ、予約制に参加して時間調整しても良いと答えた人は、9割以上に達した⁹⁾。

このような政策を実現させるためには、効率的で信頼性の高い料金徴収システムが、必要であるが、ETCシステムで議論されている技術開発及びプライバシー保護やセキュリティ確保、車の所有者責任問題など制度上の問題がそっくり当てはまる。さらに、ETCにはなかった課題としては、利用者の料金弾力性を推定して、ちょうどうまく需要をコントロールできる料金体系を設定すること、料金徴収によって得られた財源の用途をどうするのか、といった問題などが残されている。また、人によっては全く時刻調整をしなくても便益を得る人もいれば、かなりの時刻の調整を強いられる人もいるというように、公平性の問題も議論の余地がある。

車は予約時間を間違えたりしても用意には引き返せなかったり、どこでも簡単に待つことができないものである。自動車交通においては通行を予約するというのは、馴染みのないことであった。しかしながら、ほかの交通機関をみた場合には、予約制が導入されているものが多く、時間調整のもたらす便益を一般に啓蒙することによって、十分社会に受け入れられるのではないだろうか。

(2) モード調整

モード間の物理的、経済的、時間的、心理的なバリエーションをなくして、交通機関の組み合わせで総合的にベストな交通体系を形成しようとするインターモーダル施策がさかんに検討されている。

情報の提供によって交通機関の乗り継ぎをスムーズにしようとする試みは既に数多く見られる。バス総合案内システムによって、バスの出発時刻、主要バス停間の現在の所要時間を知ることができる。また、バスの接近情報をバスを待っている乗客に知らせるバスロケーションシステム、図5のようにマンションの部屋まで情報が送られてくるバス情報システムなどがある。図6は、都営地下鉄船堀駅の“バス・レール”システムで、鉄道遅延情報をバス運転手に流すとともに、バス発車予想時刻表示を鉄道駅構内で表示することにより、地下鉄からの乗り換え手段を効率よく選択できるようになっている。

次のインターモーダル促進策は、異なるモード間の乗り継ぎ料金協調策である。札幌市営の地下鉄とバスでは、乗り継ぎの便を図るために、地下鉄駅では最終バス停までの切符を一括して購入できるように、またバスから地下鉄に乗り換える場合には、バスを降りるときに乗り継ぎ券が貰えるようなシステムになっている(図7)。同様のシステムは、広島の新交通システム“アストラム”や名古屋基幹バスでも行われている。

このように既にインターモーダルな交通体系を支援するITSはいくつか見受けられるが、VICSやATISに活用されている道路の動的な情報と、公共交通機関の情報を統一して利用者に提供することについては、まだまだ改善の余地が多く残されている。また、異なる事業者間の料金精算の一元化についても利用者ニーズに完全に応えているわけではないだろう。このような改善については、技術的な問題よりも異なる管理者間、事業者間の調整(役割と責任)といった問題が大きく、管理者・事業者の積極的な調整を促す行政の支援も一層必要である。

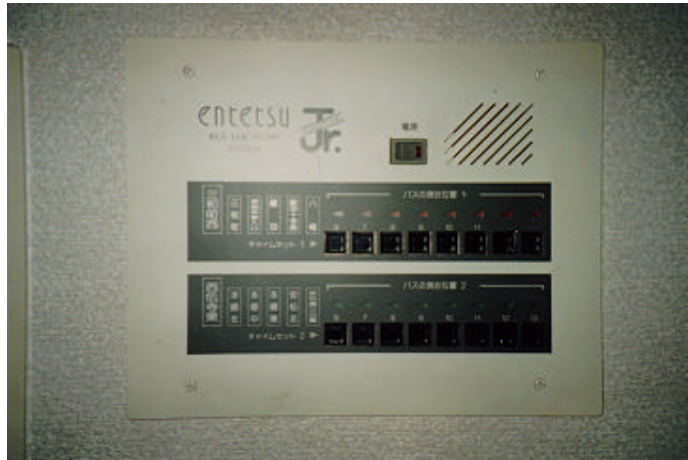


図5 遠州鉄道バス パスロケ君 Jr.
提供：(財)計量計画研究所 牧村氏



図6 都営船堀駅バス発車予想時刻表示
提供：(財)計量計画研究所 牧村氏



図7 札幌バス地下鉄乗り継ぎシステム¹⁰⁾

5 . おわりに

研究開発・実用化されつつある ITS を中心に、ITS が渋滞対策を通して環境改善に貢献できる場面をいくつか述べてきた。このほかにも、流入規制、工事規制、事故・故障車対応、などにおいて、ITS が活用できるシステムがありそうだ。ITS はツールであり、それ自体が目的ではないので、ニーズ・オリエンティッドなシステムのハード・ソフトの開発、および技術開発以上に時間のかかる制度面の整備にいち早く取りかかることが望まれる。

参考文献

- 1) (社)日本自動車工業会、豊かな環境を次世代に
- 2) (財)自動車走行電子技術協会、ITS による省エネルギー施策と効果、平成 10 年 3 月 .
- 3) 日本道路公団、技術部交通技術課：ETC(ノンストップ自動料金収受システム)試験運用のお知らせ、1997
- 4) 吉田、越、安井：アダプティブ・クルーズ・コントロールによる高速道路のサグ渋滞の軽減効果、土木計画学研究、講演集 20(1)、1997.11
- 5) 日本道路公団：みち、No.107、平成 9 年 7 月
- 6) 越正毅，赤羽弘和，桑原雅夫：渋滞のメカニズムと対策、生産研究 41、pp.753-760、東京大学生産技術研究所、1989 年 10 月 .
- 7) 千葉、佐藤、赤羽、桑原：路上駐車による旅行時間損失の推定、土木計画学研究、講演集、1998.11
- 8) Yoshii, T, et.al : Possibilities of Traffic Improvement by Dispersion of Vehicles' Trips, Proceedings of 5 th World Congress on ITS, Seoul, Korea, 1998.10
- 9) Hirokazu AKAHANE and Masao KUWAHARA: A Basic Study on Trip Reservation Systems for Recreational Trips on Motorways, Proceedings of the 3rd World Congress on Intelligent Transport Systems, Orlando, U.S.A., October, 1996.
- 10) 札幌市交通局：さっぽろの地下鉄・バス・電車、1994.11