

自動車交通のインテリジェント化

Intelligent Vehicle

東京大学工学部教授
工学博士

井口 雅一



1. 経済成長と自動車の増加

バブル経済の崩壊以降、日本の四輪車（新車）販売台数は、1990年の777万台をピークに低下の一途をたどった。しかし、自動車保有台数をみると、現在でも年率2.6から2.8%で着実に増加しており、最近6700万台を越えた。

世界をみると、自動車生産台数は1989年の4900万台から経済停滞のために減少しているものの、保有台数は年率約5%でこれも着実に増加し、6億台となっている¹⁾。

図-1は日本、アジア、世界の自動車保有台数の変化を示している。この着実な右上がりの曲線は、余程の世界的事件でも起こらない限り、自動車は増え続けることを示唆している。

一人当たりの国民所得と人口あたりの自動車保有台数は良く相関するといわれる。一人当たりの国民所得が増えれば自動車の保有台数も増える。

現在東アジア各国の経済成長は目覚ましい。人口も増えているので、一人当たりの国民所得は経済成長率よりも少し小さくなるが、それでも着実に増えている。したがって、保有自動車数も増えることになる。図-1にそれが良く表れている。

2. 面交通と線交通

我々は面状に分散して居住する。オフィスにしても、面状に分散している。したがって、交通とは平面の一点から平面の他の一点へと移動する。物流にしても基本は同じである。自動車を使えば平面の任意の一点から他の任意の一点へ、つまりドアツードアでいつも移動できる。自動車は面交通機関である。

それに対して、乗合式の公共交通機関は線交通機関である。公共交通機関の典型である鉄道をみれば、列車は一本の線の上を各駅停車で運行する。面移動の機能は、利用客が直交する線への乗り換えによって満たされる。そのうえ、時刻表によって利用が縛られる。さらに、駅を出てから目的地までの端末交通機関を必要とする。

自動車は輸送力が小さいから交通需要の大きな大都市では使えない。輸送力の大きな鉄道に頼らざるを得ない。

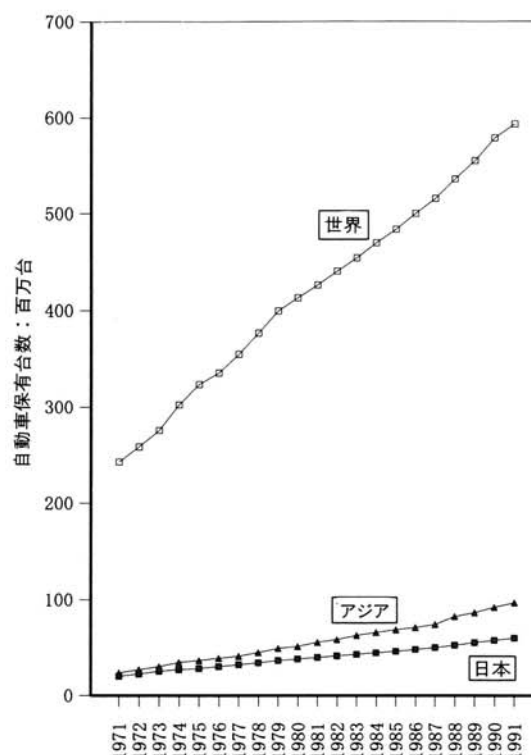


図-1. 世界、アジア、日本の自動車保有台数
Fig.1 Automobile ownership of the world, Asia and Japan

列車の運転時刻表を気にしながら駅までたどり着き、自分とは関係ない駅での停車と乗り換えを我慢し、駅から先の交通機関を心配しながら鉄道を使うことになる。つまり、線交通機関を使って面移動をするにはこれだけの旅客の協力を要求される。その点面交通機関の自動車はいつでもどこへでもドアツードアで面移動を担える。交通需要密度の小さい地域では、自動車は現代のもっとも便利な交通機関である。経済力が付けば、自動車が増えるのは至極当然である。

3. 自動車交通の進化

自動車をもたらす社会的な副作用は改めて言うまでもない。事故、渋滞、排ガス、資源・エネルギーの大量消費である。駐車面積の増大や廃車廃棄・リサイクルも課題である。

前述のように自動車保有・利用が今のまま進めば、やがては副作用のために社会が破綻する。有限な地球がすぐそこに見えている。

社会的な副作用のない、自動車に代わる面交通機関は、見通せる限りの将来においては存在しない。空飛ぶ絨毯などは残念ながら技術の視野には入ってこない。つまり、相変わらず自動車が面交通機関の役割を果たすことになる。

自動車交通関連技術者の役割は、副作用の少ない、あるいは全くない自動車交通を造り上げることである。1886年に自動車が生まれてからすでに1世紀が過ぎた。100年たてば世の中も変わる。新しい世の中に適応した新しい自動車ならびに道路交通に進化させる時がきている。21世紀までに残された期間に、次の世代の自動車・道路交通のコンセプトを作りあげ、その実現のための道を敷き始めるのがさしあたっての責務である。

4. 環境・エネルギー対策

排ガス対策に真っ正面から取り組むのが、低公害自動車の開発である。電気自動車をはじめとして、代替燃料車、天然ガス、メタノール、水素などが研究開発されているが、自動車と石油という今でさえこれ以上の組み合わせを見出せない程の優れた連携を切り離すには大きなコストを要する。環境保護のためにそれだけのコストを支払う社会的な同意が得られないうちは、実用化が容易でない。

しかし物理学の基本として、物を移動しても結果とし

ての仕事量はゼロであることを思い起こしてほしい。東京にある人・物を大阪に運んで同じ高さに置けば運動エネルギーも位置のエネルギーも東京にあるときと同じである。交通機関が費やすエネルギーは、動力機関のエネルギー損失と走行抵抗によってすべて無駄に失われ、地球の温度を上げるだけに使われる。動力機関のエネルギー効率を高め、走行抵抗を減らし、鉄道車両のように回生制動によって運動エネルギーを回収できれば、輸送エネルギーは限りなく減らせる。

理想は転がり抵抗のない車輪を使い、真空チューブの中を地球の重力を使って加減速すれば、エネルギーゼロの輸送ができる。このアイデアに近いシステムは、現在の宇宙技術を使えば実現できるところにまできている。

この問題を論じていると紙数が足りなくなるので、インテリジェント化の本論に移りたい。

5. 自動車交通の現状

鉄道は線路、車両、駅、信号系、電力系などすべての構成要素が単一システムの管理下に置かれている。列車の運行系に限ると、列車、運転士、線路、信号保安系、中央制御室は通信系で結ばれた一つのシステムを構成している。

従来は運転士のヒューマンエラーが原因で、信号無視の追突などが起こったが、新幹線では保安系が安全を保証する範囲内でしか運転士に作業自由度を許さない方式となっているので、ヒューマンエラーが事故に直結しない。

自動車交通は新幹線システムとは全く逆のシステムとなっている。自動車交通の構成要素である道路、自動車、ドライバー、交通信号は相互に結合する通信系を持っていない。ほとんどすべてが、ドライバーの視覚による監視によって情報伝達が行われる。システムとは一般に、構成要素相互が互いに密接に連絡しあい、目的に適合するように協調し合うものを言うが、自動車交通の要素間には、相互に連絡し合う通信系を持っていない。したがって、システムとしての形態が造られていないともいえる。

人はエラーを起こすといわれる。誰でもついうっかり間違いを犯す。新幹線ばかりでなく、現在のマン・マシン・システムは、ヒューマンエラーが直接事故に結びつかないような保安装置を必ず組み込む。ところが、自動車交通にはこの保安装置が十分には組み込まれていない。ドライバーの居眠り、ちょっとしたよそ見や判断ミスが重大事故を引き起こしている。

自動車は個人の所有であり、ドライバーがすべての事故責任を負いながら自由に運転するという社会論理の下に急速に発展してしまった。誰もいない田舎の道で居眠り運転をして、事故を起こしても自業自得といえるかもしれない。しかし、混雑した今の道路では、ちょっとしたミスでも自分だけでなく他人を死傷させる。事故はドライバーの責任であるとはいえ、当事者にとり大きな不幸であるばかりか、社会的にも大きな損失である。次世代の自動車交通は、システムとしての形態を導入して、安全、円滑、快適な交通を構築しようとしている。

6. 交通情報システムの導入

真っ暗な山道を自動車が自分のヘッドライトを頼りに走る様を飛行機の上からみると、視覚のない昆虫が光の触覚を頼りにのそのそと動いているように見える。高速で走る自動車には、もっと広域の前方情報が必要なのに、現実にはほんの目先の情報のみを頼りに動いている。現在でも、ラジオ、テレビによる交通情報放送があるが、多数車を対象とした一方向の情報提供なので、きめの細かな情報にはなり得ない。

道路交通要素間にまず通信システムを張り巡らせる。自動車は動き回るので、移動体通信が必要である。路車間（地上施設と自動車間）車車間（自動車相互間）の双方向データ通信インフラを整備する事が基本となる。

現在カーナビと呼ばれる車載ナビゲーション装置が売られている。車載ディスプレイに現在位置を中心とした道路地図が表示され、現在位置がその中にマークで示される。道路地図はたいいていの自動車が持っているが、自分の現在位置がわからなければ使えない。カーナビではGPS（衛星を使った位置検知方式）などを使って自動的に自車位置を検出している。

交通情報の多くは場所に密着しているので、地上から伝えられる現在の渋滞情報とか気象情報などの交通情報は、カーナビの地図の中に表示されることになる。VICS（Vehicle Information and Communication System；自動車情報通信システム）による交通情報提供が1996年に開始されることになっている。

同じ道路の上をたくさんの自動車が走っていても、走行目的、行き先は千差万別である。各ドライバーが欲しい情報もまた多種多様となる。放送方式で多くのドライバーに同じ情報を提供する方式では、たくさんの情報を提供する割に各ドライバーが欲しい情報はそのほんの一部でしかない。通信の理想はドライバー側から欲しい情

報を地上側に伝え（アップリンク）、その要求に合った情報だけを当該自動車に伝える（ダウンリンク）ことである。いづれにせよ、自動車交通のシステム化は、すべての要素を双方向通信で結んで初めて完成する。

アップリンクを通して自動車側から目的地までの所要時間の問い合わせがあれば、地上側ではどこにいる車がどこへ行く計画かという、将来の交通流予測に必要な情報が得られることになる。

7. 交通マネジメント

アップリンクを使った交通流計測や、交通流画像の自動分析により、交通流速度が計測できれば、一段と高度の交通信号制御が可能となる。交差点で一方の道路では信号数回待ちであるのに、もう一方は交通流がないのに青時間が続いているということもなくなり、交差点の交通容量を増やすことができる。

自動車交通は道路ネットワークを使った分散交通であるから、特定の幹線道路に交通量が集中して渋滞を起こすのは、自動車交通の特長を活かしてないことになる。その原因は、ドライバーに十分な交通情報が与えられていないことにもよるが、個人の合理的なルート選択が必ずしもシステム全体の交通流の最適化をもたらすことにはならないことにも原因がある。そこでドライバーに目的地まで、最短時間、最短距離など走行条件の求めに応じて個別の情報を与えて走行ルートを誘導する。

現在の交通制御で欠けているのが、異常事態に対する即応である。異常事態、たとえば交通事故が発生すると、自動検知して直ちに後続交通流を緊急停止させ、事故の状況に対応した救急隊を出動させるとともに、後続交通流のバイパスへの誘導などを即座に行う。いわゆるメーデー機能を導入する。

駐車場情報表示が地域によって行われるようになってきたが、空き駐車場の情報提供と予約も、駐車場を探して迷走する自動車を少なくするために必要な交通マネジメントと考えられている。

交通需要マネジメント（TDM；Traffic Demand Management）はすでに警察庁、運輸省、建設省共同で行われている。大都市の道路需要は潜在需要を含めれば、都市面積をすべて道路で埋め尽くしても容量が不足する。したがって、交通需要の抑制は避けられない。そこで、交通が発発する前に、公共交通機関の状況を含めた統合交通情報をきめ細かく市民に提供し、自動車以外の交通手段を利用してもらるように誘導する。そのための統

合交通情報提供システムも実現したい。

8. 物流ロジスティックス

日本の貨物輸送はトン・キロベースで自動車約50%、海運が45%、鉄道が5%と自動車が一番多い。そして道路を走る自動車のなかのトラックの比率が大きい。特に都市内輸送では、沿海工業地域への原料輸送を除けば、ほぼ100%がトラック輸送である。

したがって、都市内を走る自動車にはトラックが多くなる。平成5年度運輸白書によると東京の首都高速道路では台キロベースで55%がトラックである。交通渋滞の原因にトラックを無視できない。

最近では商品の価格破壊が進むと言われている。コスト低減のために輸送費を低減させようとする圧力が大きい。また、将来の若年労働力の減少を考えれば経済の立ち直りとともに、再びトラック運転手が不足することは間違いない。そこで高度のロジスティックスを導入して、貨物輸送を合理化しようという努力がなされている。交通マネジメントではこの方面への助力も重要である。

トラックによる貨物輸送を他の輸送機関に振り替えようとするモダリティシフトがいわれているが、都市内輸送とか東海地区の輸送には代替輸送機関がない。そこで、新たな貨物輸送システム、新物流システムが建設省によって研究開発されている。図-2のように専用レーンを自動操縦のトラックが走るシステムで、レーン内から人間

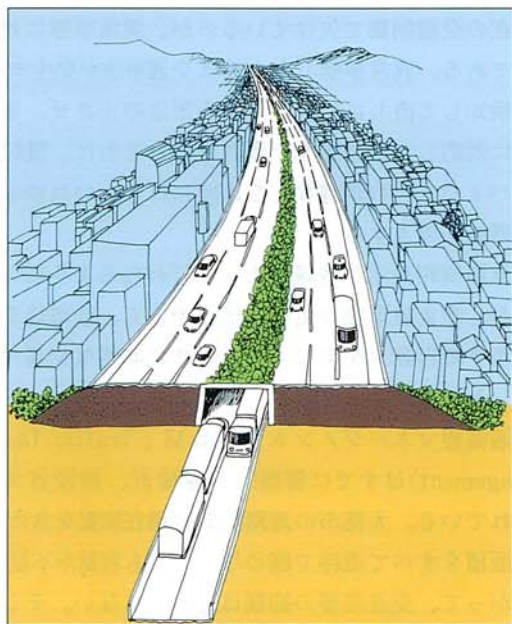


図-2 建設省が研究開発中の新物流システム

Fig.2 New freight transportation system being developed by ministry of construction

を完全に排除すれば、安全基準は緩和できるので、車間距離を現在の自動車交通よりもはるかに詰めた運行ができる。したがって、交通容量が増え、高効率の輸送ができる。このシステムで使われるトラックは専用レーンを出れば人が一般道路を運転できるデュアルモード車である。

9. ドライバーのバックアップ

コンピュータは人間の頭脳作業を代行するとはいえ、コンピュータを組み込んだロボットが自動車を運転できるかといえば、とてもそこまではできない。では、自動車の運転に関して人間がすべての点でコンピュータに勝てるかと言えば、人間はミスをする、というっかりする、眠くなるなど、いわゆる人間的な面、つまり機械を運転する場合には困った欠点を持っている。

最近のマン・マシン・システムでは、人間のミスが事故や災害に直結しないようにバックアップする保安機構を組み込んでいる。ところが自動車の運転にはドライバーのバックアップ機構がほとんどない。ちょっとした居眠り、よそ見、判断ミスが事故に直結する。

交通機関でもっとも安全なシステムの例が新幹線である。東海道新幹線は開業30年間28億人を運び、事故による乗客死亡者はゼロである。列車はレールに拘束されている。追突は、安全車間距離を維持させる保安システムATC(Automatic Train Control)によって防護されている。横からの衝突は合流点で起こりうるが、CTC(Centralized Traffic Control)によって防護されている。運転士は保安システムが安全と保障する範囲内でしか運転の自由が許されていない。

自動車専用道路の運転でバックアップシステムを働かせ、車線距離は安全な距離以内に詰めることを許さない。車線変更はバックアップシステムが安全を確認できた場合にしか許さない。車間逸脱は許さない。車線に入り込んだ障害物は自動検知装置が検知し、必要があれば緊急制動を働かせる。当然後続車にも自動制動が働く。以上の機能を自動車交通に組み込めば新幹線の運転システムに近くなる。

上記のバックアップシステムの実現に必要な技術の開発はすでに進められ、実用レベルに達している技術もある。このようなバックアップシステムを組み込めば、勝手気ままな運転も許されなくなが、高速道路を安全運転するドライバーはすでにこのような運転をしているといえるだろう。

10. ドライバーの視覚支援

自動車の運転はドライバーの頭脳によって行われる。ドライバーへの情報の多くは(80%とも90%ともいわれる)視覚を通して伝えられる。ところが、自動車には死角があるし、周囲全域を同時に見ることはできない。見落としもある。夜間良く見えないこともある。加齢とともにまず衰えるのは視力である。高齢社会では、ドライバーの視覚を支援するシステムがまず必要である。

イメージセンサーなどによる、周囲の車両、歩行者、モーターサイクル、自転車、路上の障害物などの自動検知技術がもっとも重要な技術の一つである。車線、交通標識、交差点、交通信号機などの自動認識と自動読み取りの技術開発もまた重要課題である。

自動的に画像認識を行い、ドライバーに必要な情報処理をした結果を安全に効率よくドライバーに伝えるインターフェイスの開発もまた必要である。特に画像情報をドライバーに伝えるのに、現在のようなCRTやLCDでは十分とはいえない。HUD(Headup Display)やHMD(Head Mounted Display)が必要となろう。

情報処理には危険度を評価するソフトが要る。しかも、事故は一瞬の内に起こるので、処理速度が速くないと間に合わない。評価基準はドライバーの危険感覚に適合していないと、忌避されてしまう。この方向の研究はまだ軌道に乗っているとはいいがたい。ドライバー受容性の研究を含めて今後の進展を期待したい。

11. 自動運転

自動車交通のインテリジェント化の究極は自動運転システムである。米国IVHSプロジェクトではAHS(Automated Highway System)として熱心に取り組んでおり、1997年にデモンストレーションを計画している。米国のAHSにはアダプティブ・クルーズ・コントロール(車間距離維持の自動制御)なども含む広い定義となっている。自動運転技術にはインテリジェント化技術のほとんどを要素技術として含むので、技術の裾野を広げ体系化する効果は大きい。

一般路を含めた自動運転が実現するまでには、部分自動化の実績を積み重ねる過程が必要である。現在、クルーズコントロールによる車速維持制御が普及しているが、次には車間距離維持制御に進み、さらには異常時の制動制御、最終的に操舵制御ができて、ほぼ自動運転技術が完成することになる。

いわゆる新交通システムでは列車の自動運転が採用され、すでに十年以上の実績を積んでいる。操舵制御は機械式が採用されているが、これを電子方式に代えることは現在の技術を使えば可能である。したがって障害物の進入に対して防護処置が講じられた専用軌道内の自動運転であれば、現在の技術でも実現できる。前述の新物流システム内の自動運転は実現可能な技術から構成されている。

12. あとがき

特別な専用道路であれば現在でも自動運転が可能と言っても、手動運転の自動車と混在する自動運転とか、一般道路の自動運転の実現には時間を要する。そこに行き着くまでには、多くの要素技術の実用化と実績を積み重ねる長い過程が必要である。自動車交通のインテリジェント化は始まったばかりで、苦労も多いと思われるが、21世紀の自動車交通へと進化させるために、避けては通れない道程である。ご協力を期待したい。

文献

1. 日本の自動車工業、(社)日本自動車工業会

筆者紹介

井口 雅一(イグチ マサカズ)

1957年東京大学工学部卒。1973年より東京大学工学部教授。工学博士。現在、道路・交通・車両インテリジェント化推進協議会理事長。