

# 次世代モビリティによるモビリティ社会の変革

Transition into a Mobile Society through Next-generation Mobility



須田義大\*

Prof. Yoshihiro SUDA

This paper presents an important viewpoint of the next generation mobility in urban area. From the points in the design of sustainable transportation system, selection of transportation mode, technology with design of institutional arrangements, and urban design are discussed. Finally the direction of technical development is shown for next generation mobility.

**Key Words:** mobility, transportation, vehicle, personal mobility, technology, autonomous driving

## 1. はじめに

産業革命により動力が発明されてから、200年余り、実用的な自動車が誕生してから、100年ほどになる。この間、人類は、交通にまつわる多くの発明をし、公共交通としての鉄道、パーソナルな乗り物としてのバイク、自動車と、移動手段として多くの選択肢を持つようになった。この200年の間、新しく誕生した乗り物を使いこなす、世代交代をするうちに、どのように使えばよいのか、使い方のどこに問題があるのか、など体得し、知恵を付けてきたと言えよう。20世紀は、自動車の時代であろう。自動車の誕生により、人類の活動は飛躍的に発展し、巨大な産業を生み出し、より豊かな社会を構築してきた。また同時に、電信技術の進展も大きかった。情報伝達ということからは、いちいち実際に移動しなくても、あるいは物体を輸送しなくても、瞬時に伝送できることは、社会にとっても大変大きな変革であった。

21世紀の現在、賢くなった人類と、進化してきた交通手段、情報通信手段との関係を考えてみると、このまま20世紀に発明された仕組みを使い続けるということにはならない筈である。交通手段を適材適所に使い分けることはもちろん、情報通信技術の発展と融合した、新たなモビリティ技術を構築していくことが重要である。今までは空想でしかなかった個人や個別の移動手段の詳細な情報を瞬時に収集し、大量のデータを分析して特徴量

を抽出し、リアルタイムに情報提供をすることも可能となってきた。今後は、情報提供のみならず、人間の能力を補完し、さらに制御介入することも現実的になりつつある。すなわち、ITSとして定義された人間・ビークル・インフラを情報通信で融合する取り組みは、一段進化した形で再構築されていくことになる。

地球のスペースが有限であること、地球で利用できるエネルギーについても、無制限に利用できないこと、破滅的な自然災害には未だに人類は無力であること、このような社会環境も人類に的確に認識されるようになってきた。そのため、道路などのインフラをどのように造り、維持管理をしていくべきか習得してきた。

自動車交通は大変便利であるが、限られた交通容量のなかで大量に需要をさばくのは難しいこと、そして、安全性という観点については、利便性を優先することで、交通事故という負の側面を過小評価してきたようにも思える。我が国においては、高齢社会を迎えたこともあり、人口の年齢構成比を考慮したモビリティ社会を創造していく必要もある。

人間の移動のみならず、物流も重要な課題である。本来、モノの移動に人は必要でなく、エネルギーとしても、時間や労力・コストに対して効率よい輸送手段の構築が必要である。以上の観点から、次世代のモビリティ社会を描くための技術的な検討や制度設計について、筆者の私見を紹介したいと思う。

\*東京大学 生産技術研究所 教授 博士(工学)

## 2. サステナブルな交通システム

次世代モビリティの満たすべき要件について考えると、サステナブルな交通システムを構築することであろう。交通システムに求められる基本的な要件は、人の移動と物の輸送を行うことであるが、その実現が、ユーザーや社会に対して望ましいものであり、害を与えないということである。

サステナブルな交通システムとして、筆者があげる3つの項目は、安全・安心、環境低負荷、快適・健康となる。交通システムにとって、安全であることは最優先課題である。それをさらに進めて、安心して利用できる、また、社会も、交通システムの存在自体も安心していられるということが重要であろう。環境低負荷とは、省エネルギーでCO<sub>2</sub>排出を極力減らすことである。最近では環境問題というと、CO<sub>2</sub>問題を主体に考えられているが、かつては自動車から排出される排気ガスによる公害や、交通騒音問題が重要視されてきた。もちろん、これらの交通システムが利用者以外へ与える影響も十分考慮される必要がある。

以上の課題があるのは、残念ながら、現在の交通システムが、十分な性能を持っていないということである。現在のシステムが持つ負の側面を解決するだけでは、魅力あるモビリティは実現できない。そういう意味で、快適・健康という課題も掲げている。

一方、モビリティを構成するハードウェア、ソフトウェアの観点からみると、サステナブルな交通システムの在り方はどうなるのであろうか。モビリティの主役は、当然、人間である。物流であれば、輸送される荷物である。そして、ビークルとインフラがセットで必要になる。すなわち、これら3つの要素が連携し、融合したシステムであることが重要である(図1)。当初の自動車交通は、これらの連携が十分に実現していなかったため、様々な問題を引き起こした。道路という交通インフラが十分交通容量が大きく、輸送の密度が低い状態ならば、自動車を好き勝手に走らせても大きなトラブルはないかもしれない。しかし、限られた交通空間を多くの自動車が、そして、歩行者やバイク・自転車などが共用して利用するとなると、交通管理やルールが必要になる。交差点での信号機は、違う方向に行きたい交通需要を調整する機能である。空間的に目的別の交通に対して、専用空間として分離できれば信号機は必要ないが、高速道路のようにすべての道路を立体交差にすることはできない。そこで、

専用できる時間を割り当てて、タイムシェアリングを行う。どのように信号を制御するか、という問題に対して、過去の交通実績データや、リアルタイムの交通需要を計測して、タイミングを決めることになる。このやり方が、もし、実態に合わないと、渋滞や交通事故が発生することになる。ドライバーとしても、予想外のことが生じると、対応できなくなってしまう。すなわち、インフラの構造に応じて、的確な情報をドライバーに提供すること、他の車や歩行者などの情報をセンシングして、ドライバーに情報を提供すること、交通情報に応じて、信号機のタイミングを始めとする交通管理をダイナミックに制御すること、さらには、道路インフラの構成についても、状況に応じてダイナミックに制御することが望まれることになる。最後の例は、たとえば、需要に応じて車線の数を変えるなどの手法である。

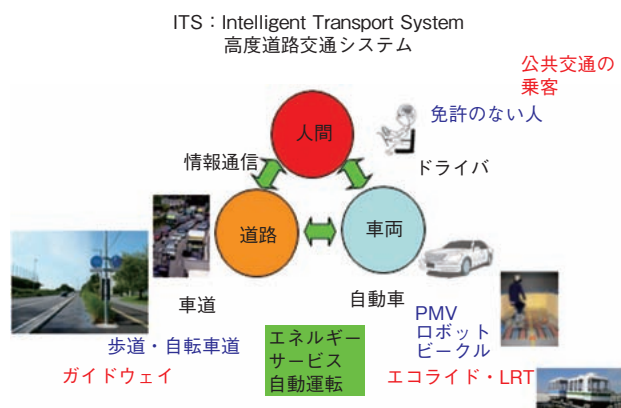


図1 次世代モビリティとITSのコンセプト  
Next-generation mobility and concept of ITS

信号機について言えば、一定時間ごとに特定の需要に対して専用権を与える現在の方法から、理想的には、衝突をしないように個別に走行路と速度を割り当てて、極力停止をしなくて済むような交通制御である。インフラに取り付けた信号機をドライバーが目視で確認して運転するのではなく、車内信号機や自動運転技術を使って、賢く誘導することである。軌道系の交通システムである鉄道の進化の歴史を見れば、目視によるマニュアル運転、信号機を見落としてもバックアップする自動停止装置、車内信号機を用いて衝突をしない速度制御を行う自動列車制御装置、そして、完全な自動運転が実現してきている。

人間・ビークル・インフラを情報通信技術で融合する試み、すなわち、ITSとして、研究開発や実用化が進められてきているが、そろそろ、目標や理想を高く掲げ

ていく時代になってきたように思う。

### 3. 交通モードの選択

次世代モビリティは、サステナブルなシステムとして、安全・安心、環境低負荷、快適・健康を評価指標として、情報通信を用いて人間・ビークル・インフラ融合されたものであるが、その実現するための方策と評価について考えてみたい。交通システムの評価には、利用者の視点と、社会の視点と大きく分けて2つある。そして、これらの視点は、互いに相反する状況にもなってしまう。利用者にとっては、自分の好きな時間に好きな場所に、プライベートな空間で楽をして移動できることが最大のメリットである。だから、ドア・ツー・ドアの移動が可能で、自分が所有し、自分専用のビークルが利用できる自家用車が好んで使われる。ところが、社会の視点から見ると、すべての交通需要について自家用車を用いることは、都市空間においては、残念ながら現実的でない。

限られた交通スペースを有効活用するためには、専有面積の小さいビークルの方が有利だし、1両のビークルを多くの利用者でシェアする公共交通システムの方が、安全性、環境低負荷性の観点からは有利である。快適性や利便性の観点からは、当然ながら、自家用車と同等では無い。自分で運転するより電車に乗った方がよい、という人間もいるし、普段は自家用車を利用している人間でも、自分が運転できない場面もあるので、公共交通が必要だ、という考えもあるが、ビークルを複数の人間でシェアして運行管理を行う公共交通の存在意義は、基本的には、社会からの要請である。パーソナルな乗り物だけで都市空間のモビリティを構成するより、社会的なコスト、社会受容性の観点から、公共交通システムと融合していくことが、合理的であるというのが現実である。

すなわち、バス、鉄道・地下鉄・LRT（ライトレールトランジット）などの軌道系交通システムを連携させること、公共交通システムと自動車の連携のためには、ハードウェアとして、個別の簡便な乗り物、自転車やそれを進化させたPMV（パーソナルモビリティ・ビークル）（図2）を活用し、利用者には的確な情報提供を行い、パーク・アンド・ライドで車を停めてシームレスに公共交通に乗り換えるシステムの整備、公共交通自体のオンデマンド運行などの進化が重要になる訳である。



図2 PMVの例（セグウェイとウイングレット）  
Example of PMV (Segue and Winglet)

既存の自動車では輸送力は小さく、一方軌道系の公共交通システムである鉄道は、インフラ投資が大きく輸送量を稼がなければならない。よって、両者の輸送効率には落差が大きすぎて、シームレスなモビリティは実現できそうもない。面積当たりの輸送人員、交通密度の観点から、LRTやバスなどの公共交通システムや、パーソナルなモビリティとしては、軽自動車よりもより小型なもの、原動機付き自転車との間のカテゴリーとして、いわゆる超小型モビリティ、自転車と原付との間のカテゴリーとして、自転車よりも使いやすいPMVなどを実用化して総合的な交通システムを構築していくことが重要である。

軌道系の公共交通システムにとっても、鉄道や地下鉄といった巨大なインフラ設備を必要とする方式よりも、より軽量コンパクトな方式が求められている。欧米では路面を走行するLRTが進展し、我が国においても富山市などで実績を挙げてきている。LRTをより高度化し、急曲線通過性能を自動車なみにすることによって、バスとの共用を図るなどの技術開発や、歩道上空や、中央分離帯の上空空間などをうまく活用する「エコライド」（図3）のような省エネルギーの自動運転軌道系システムの必要性が理解できる。



図3 低コスト・省エネルギー・高頻度・自動運転軌道システム「エコライド」

Low cost/energy-saving/high frequency/auto-drive trajectory system [Ecoride]

そして、これらの新たな交通モードをシームレスに利用できる環境を、IT/ITS 技術を用いて構築していくことが重要である。ハードウェアだけを整備しても、利用のインセンティブや利便性が伴わなければ使われない。

#### 4. テクノロジーと制度設計

モビリティのデザインを考えるときに、理論的な観点から最適なシステムを構築していくのは当然であるが、交通の問題では、もう一つ重要な観点がある。それは、法規や保険といった社会制度である。いくら理想的な交通システムを構築しても、我が国においては、交通システムごとに、車両の安全基準や道路交通法や鉄道営業法などの法規を満たさないと実用化できない。この視点も考慮した検討が大変重要となる。

交通システムの発達の歴史から、本来は自由に仕組みが作られていくべきと思われる。ところが、我が国では、明治維新によって、それまでの徒歩を主体とした交通から、鉄道や自動車による交通へ大変革をした。鉄道も自動車も残念ながら我が国で誕生した技術ではない。その後の生産と活用、そして技術については、我が国は世界一流となったが、制度設計という観点からは、既成概念による縦割りが色濃く残り、新たな交通モードの出現に対しては保守的である。

社会制度は、当然、社会の進化に応じて改革・改善が行われる。新たな発明が実用化されれば、その規則が誕生する。問題は、そのルールをどのように社会受容性を満たすように変えていくのか、方策と変革のスピードである。

変革が社会に認知されるまでには、それなりに時間が掛かるが、成り行きに任せるのではなく、ビジョンを作りそれが有益な社会の進化であることを実証していく必要がある。利用者、交通の提供者、事業者や産業、そして地方自治体と国の行政が協調してビジョンをつくり、実践していくことになる。このような観点から、産官学民の共同は大変重要で、大学などの中立組織の役割が期待される。筆者の属する先進モビリティ研究センターは、シーズとしての基礎技術・先進技術の研究開発だけではなく、地域連携、産官学融合の取り組みを進めている。今後は、単なる共同研究だけではなく、理想の実現のための新たな枠組みの構築についても取り組んでいきたいと考えている。

#### 5. 都市空間のデザイン

次世代モビリティの実用化には、導入する都市空間のデザインも重要である。既存の道路空間にマッチするモビリティという観点もあるが、理想的なビジョンを実現するためのインフラやライフスタイルの在り方も重要である。

コンパクトシティというコンセプトがある。自動車利用を前提とすると、移動に関する負荷は低減され、また、車の駐車スペースを確保するため、郊外に巨大なショッピングセンターなどを擁した面積がどんどん拡大した都市圏が構成されてくる。一方、公共交通や PMV を主体とした移動を前提とすると、よりコンパクトな生活圏が実現できる。ヨーロッパでの都市は城壁に囲まれた旧市街地があり、そこでのモビリティという観点から、このようなコンセプトが整備されてきている。アメリカにおいても、ロスアンゼルスのような郊外型の都市の問題の反省から、公共交通システムを中心市街地に整備し、都市の設備として一部は無料で利用できるような運行を行っている都市も増えてきている。

また、人間の輸送だけではなく、物流も考慮する必要がある。都市生活を成立させるためには、必要物資の都市への供給である動脈流だけではなく、都市でのゴミなどの廃棄物の運搬という静脈流の双方について、合理的なシステムを構築して行きたいところである。物流については、人間の移動に関わらないため、本来は無人システムでもよいはずである。自動運転技術の進展は、このような物流システムへの適用も重要である。

#### 6. 技術開発の方向

次世代モビリティは、以上の議論を踏まえて、既存の制度で認定されている自動車だけではなく、より小型な自動車、そして、PMV と進化した公共交通システムをシームレスに融合した方式が有望である。また、次世代モビリティの動力は、人間と環境にやさしいことも重要である。EV はもとより、小型のモビリティならば、電動アシスト技術を活用した人力の活用も有力な考え方と思われる。そして、もう一つの技術革新の方向は、自動運転技術である。

安全・安心という観点からは、パッシブセーフティとアクティブセーフティの両方について、そのバランスが重要になってくる。自動車ではアクティブセーフティ技

術として、自律システムが普及し、さらに、路車協調や車車間通信技術によって、さらに進化していく。通信技術で自動車と交通インフラがネットワークでつながり、交通行動から個々の自動車やドライバの情報までもが巨大なデータベースに蓄えられる。このビッグデータを有効活用する方策は日進月歩であり、技術の進展とともに、新たなビジネスも生まれてきている。テレマティクスで収集した情報をリアルタイムで分析し、事故の未然防止はもちろん、ドライバの運転教育、スキルアップが実現できると思われる。自動車自体がセンサとなったプローブカーとして、そして、個々の自動車やドライバが適切な情報提供を受ける、このようなインフラと情報で繋がったシステムを使いこなすことは当たり前となろう。路車間通信技術はその効果が直ぐに表れるため、大変有益であるが、インフラに過大な投資をするのは是非も検討する必要がある。IT 機器と自動車ですら、進化の度合いが異なり、車載器の更新をどうするかが問題になる。インフラに投資した IT 機器をどう更新するのか、あるいは、インフラよりも自動車に投資したほうが良いのではないかという議論が成り立つ。VICS や ETC は 10 年前では先進的な取り組みであったが、更新されないと陳腐化してしまう。よって、今後は自律型の安全支援装置や、車車間通信を積極的に推進する仕組みの構築などが重要であろう。筆者は、現在、広島において、路面電車と乗用車を車車間通信で情報提供し、安全性を向上させる取り組みを進めている。車車間通信は、設備を備えない車両があると効果が見えないという課題がある。そこで、誰が見ても明らかに区別できる車両、すなわち路面電車に車車間通信設備を設けることができれば、路面電車とかかわる事故を防止したいクルマは車載器を載せるインセンティブがでてくるだろう。

一方、超小型モビリティや PMV においては、高度な安全装置を装着すると、小型軽量低コストのメリットが失われてしまう。同じ道路を共有して走行するとなると、コンパチビリティの観点からパッシブセイフティも課題である。質量が大きく、走行エネルギーが大きく加害性の高い車両で安全を担保する、というような新たなコンセプトも必要になってくるかもしれない。

車の運転はあくまでも人間主権である。しかし、自動運転技術の進展とともに、使用場所、使用条件、場面に応じて、自動運転を実用化する方策を真面目に検討する時が来ているように思う。自動運転の導入しやすい場面としては、専用空間と無人車両である。駐車場内あるいは

は駐車場までの誘導路を無人車両が走行する、専用道路を物流輸送車両が走行する、このような場面で実績を積み、自動運転におけるドライバ主権のあり方のコンセンサスを得ることが一つの方策であろう。

自動運転技術について、近年特に注目が集まっているが、最近の成果として、NEDO によるエネルギー ITS 推進事業による「自動運転・隊列走行」プロジェクトがある(図4)。高速道路における物流を対象とした革新的なプロジェクトであり、大型トラック3台と小型トラック1台の合計4台を、車間距離をわずか4mで隊列走行させるものである。車間距離を詰めることにより、空気抵抗を大幅に低減することが可能となり、省エネルギーに貢献する。車間距離が短いと、もはやドライバによるマニュアル運転は不可能である。車間距離4mを維持するためには、車間距離を計測したフィードバック制御のみならず、車車間通信を活用した速度制御やブレーキ制御が重要となる。車間距離が4mでは、後続車両においては車線維持のための操舵制御もマニュアルでは困難である。そのため、白線をカメラとレーザレーダで認識し、追従制御を実施する。本プロジェクトでは実用化を目指し、既存の市販トラックを用いて、外付けのセンサ、アクチュエータを取り付ける方法で実現した(図5)。



図4 隊列走行・自動運転 (NEDO エネルギー ITS プロジェクト)  
Line drive/Auto-drive (NEDO Energy ITS Project)

自動運転のための装置  
◆25t 大型トラック (日野プロフィア) を改造  
◆走行制御 ECU, 自動操舵装置, 白線認識装置, 車車間通信装置, 車両認識装置, 車間距離センサ

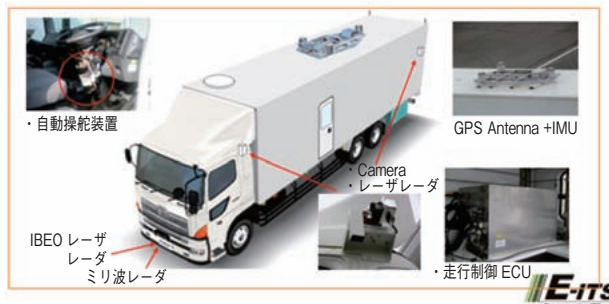


図5 自動運転のための技術開発  
Technology development for auto-drive

本プロジェクトの成果還元のためには、高速道路での実用化を目指した社会受容性の検討が重要であるが、一方で、実用化可能な範囲で用途を工夫し、実践投入していくことが、技術を育てるうえでは有益である。すでに、中日本高速道路のトンネル照明清掃用の事業トラックへの適用や、山口県の宇部市にある宇部興産専用道路（延長約 30 kmにもおよぶ私道における 60 トンダブルストレーラー輸送用）、地方交通線におけるバス転換の一つの方策である BRT（バスラピッドトランジット）システムへの適用など、実践的な取り組みも始まっている。まずは、これらの実用化を進めて、ドライバ支援のための自動走行技術の実用化をめざし、最終的には、無人の物流システムや、過疎地における小型車両や PMV などの自律自動走行などへの道筋が開けていくと思われる。

動力源に再生可能エネルギーを活用したいという観点からは、当然、電力利用であり、これについては、HEV、PHEV、EV などの進展が目覚ましい。バッテリー技術、燃料電池技術、非接触給電技術の革新により、相当な変革が予想される。さらに、小型車両や PMV では、軽量化と相まって、人力を活用する方策もあり得ると考えられる。電動アシスト自転車は、基本的には自転車として人力で駆動されるが発進時登坂では動力を利用する。PMV においても、このような考えは成立する。筆者らの提案する並行 2 輪方式の PMV である Stavic-H では、安定化は動力を使い、駆動は人力のコンセプトである（図 6）。自動車においても近年はパワーアシスト方式が花盛りであるが、パワーステアリングのような本来は人力のみで行ってきたものは、軽量化や機構の工夫により再び人力のみによる機械式が復活するかもしれない。

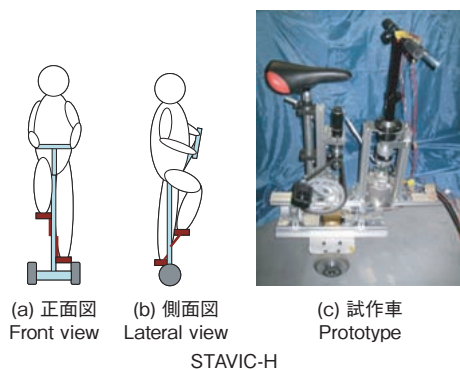


図 6 人力利用の開発中の PMV “STAVIC” の例  
Example of human-powered PMV “STAVIC”, currently being developed

そのほか、社会受容性として、高齢社会に対してどのように対応するのか、高齢社会のさらに次の時代はどうか、など長期的な観点からの検討も必要となろう。また、ビジネスとして成立させるためには、直近の我が国の対応だけでなく、海外展開やグローバルスタンダードの確立という視点をもって技術開発を行うことが望まれる。我が国の人口が減少に転じた今、世界市場を対象に技術開発を行わなければビジネスとして成立しないことも十分あり得る。

## 7. おわりに

次世代モビリティを考えるうえで重要な視点について、筆者の考えをご紹介した。個々の詳しい技術やモビリティの具体的なイメージは、多岐にわたることから若干省略した。バブル崩壊から 20 年間、我が国は成長から取り残されている。さらに、2011 年 3 月 11 日の東日本大震災により、震災復興に取り組みなければならない課題もある。次世代モビリティとして時間的に余裕がある話ではないと思われる。具体的なタイムスケジュールやロードマップをつくり、実行に移していく取り組みを是非ともしたいと考えている。