

環境とデジタル時代の自動車産業と社会 —技術革新と社会変化の相互作用についての一考察—

水戸部 啓一

はじめに

20世紀は自動車の世紀といって過言ではないほど産業が大きく開花し、市民生活に変革をもたらした。その一方で車の増加に伴い交通事故や大気汚染などの社会問題も生まれた。今、環境問題やデジタル化の進展によって社会が大きく変化する時代となり、地球温暖化問題は世界共通の重要な課題として産業のみならず生活の変化を迫っている。またデジタル化の進展は社会的なイノベーションを促す原動力となっており、さらに人工知能（AI）の進歩は社会を大きく変えるかもしれない。自動車産業にも電動化や自動運転などに留まらずモビリティシステムとしての進化の模索が始まっている。本稿ではそれらの変化がもたらすイノベーションとそれを生み出すシーズとニーズについて論じるとともに、これからの自動車の行方と社会への影響について考察する。

1. 自動車の普及は社会へ何をもたらしたか

(1) 自動車の世紀の幕開けと大衆化

1886年1月、ドイツのカール・ベンツ（Karl Benz）は世界で初めてガソリンエンジン自動車の特許を取得して、翌年に最初の1台が販売されている。ガソリン自動車はレースなどを通じて徐々に蒸気自動車や電気自動車を駆逐していった。米国のヘンリー・フォード（Henry

Ford）は独自に自動車の開発を試み、1903年に Ford Motor Company（Ford）設立し Model A を発売した。1908年には部品の規格化、互換性の確保を考慮した Model T を発売し、1913年に世界で初めてベルトコンベアー式同期組み立てラインを導入して大量生産への道を開いた。Ford 生産システムの特徴は、単一製品に絞り込んで規模の経済を追求し、部品の規格化と標準化、作業の細分化と単純化・標準化によるベルト・コンベアーを使用した移動組み立て方式にある。Model T は生産効率の向上と低価格化の相乗効果で生産台数は飛躍的に増加し、1910年の年産1万8000台から1923年には212万台を生産し、価格は発売当初の850ドルから290ドルまで低下した。この結果、1923年の販売シェアは全米の57%、全世界の約半分を占めるに至った。フォードは「賃金動機はわが社の基本コンセプト」として、高賃金の支払と低価格販売により購買力を増大させることを基本に経営を進めた。しかし1920年前後には政府のインフレ対策の影響などから、その考え方にも陰りが見え始めた。

一方、馬車製造会社経営者のウィリアム・デュラント（William C. Durant）は1904年に Buick Motor Car の経営再建を手掛け、1908年に設立した持株会社 General Motors Co. of New Jersey は1910年までに25社を傘下に収めるトップクラスのメーカーとなった。同社は1918年に General Motors Corporation（GM）に改称・改組された。1920年の恐慌によってデュラン

トが退陣して近代的な経営管理や組織改革が進められ、この時にGMの新経営委員会の一人に選出されたアルフレッド・スローン (Alfred Pritchard Sloan, Jr.) は、製品ポリシーを定めフルラインナップ政策を推進した。スローンは1923年にPresidentに就任すると様々なビジネスの改革に着手した。資金と在庫、生産などの財務管理を進めるための需要予測に基づく生産計画の仕組みづくりや、年次モデルチェンジと継続的な製品改善、アート&カラー部門の新設などで購買者のニーズを喚起し、また自動車ローン、ディーラーアロケーションやディーラー管理手法などを確立して、現代の自動車ビジネスの基礎をつくりあげ、GMは1930年以降77年間も世界一の自動車会社として君臨した。Fordの大量生産方式とGMの自動車ビジネスモデルは現代につながる自動車産業の源流となった。

自動車の普及が進むにつれて、部品や素材などの産業はもとより、ガソリンスタンドやドライブインなどの新たなビジネスも生まれている。米国では1900年代初頭の数万台から恐慌や戦争などの一時的な落ち込みはあったものの、自動車は巨大な産業に成長し、2000年には1700万台を超える新車販売規模になった。現在、世界の自動車販売は2018年に9500万台に達している。

(2) 自動車の普及と社会的な影響への対応

自動車の普及は人々の自由な移動を実現し、生活や経済活動にも大きな利益をもたらすようになったが、一方で新たな問題を引き起こしている。米国では自動車が増えるにつれてすぐに交通渋滞や自動車事故が起き始めている。さらに1960年代後半には工場や発電所、自動車などから発生する大気汚染問題が深刻化した。日本でも同様のことが大きな社会問題となってい

る。1990年代に入ると産業革命から急速に増加した二酸化炭素 (CO₂) などの温室効果ガスの排出と蓄積により、気候変動・地球温暖化問題が国際的に大きな注目を集めるようになった。自動車も全体排出量の約2割を占めている。

交通事故による死傷者を減らすために、1966年に米国の運輸省が初めて自動車の安全基準を法制化し、翌年にはシートベルトの装着義務化や衝撃吸収ステアリング等を含む20項目の規制がFMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standards) として公布され、1968年に施行された。日本でも同年に自動車安全基準を発表し、道路運送車両法の保安基準が改正されている。1970年には米国の主導で日独が参加したESV (Experimental Safety Vehicle) 計画が進められ、車両構造とともにエアバック (SRS) やアンチロックブレーキ (ABS) などの安全デバイスが研究された。安全の規制は効果の検証や対策技術の進歩を加味して暫時強化されている。米国などでは規制による効果と社会的なコスト負担増も実施判断に用いられることがある。1991年にはエアバックの装着が義務化された。

大気汚染問題に対しては1963年に全米を対象に大気浄化法 (Clean Air Act) が制定された。1970年改定の「1970年大気浄化法」はマスキー (Muskie) 法と呼ばれた自動車排出ガス規制を含む広範な内容で、1975年から新型車の排出ガス中の一酸化炭素 (CO)、炭化水素 (HC) を1970~71年基準の1/10とし、その一年後に窒素酸化物 (NO_x) を1/10とする当時としては極めて厳しい規制で、一部企業から実現が困難との表明がなされたが、本田技研工業 (株) (ホンダ) などで革新的な技術が開発されたことから、規制の一部を変更して実施された。日本でも同様の規制が1978年に施行された。排ガス規制はその後数次の強化を経て、今は当時のレベルの数百分の一までになっている。

尚、1973年の第4次中東戦争によるオイルショックは、排ガス対策で燃費が悪化していた米国の自動車販売に大きな影響を与えた。燃費が比較的良い小型車、特に日本車の販売が大きく伸びて、その後の北米における日本車のシェア拡大の要因となった。米国では1975年に自動車燃費改善法を含むエネルギー政策・保存法（Energy Policy and Conservation Act.）が成立して企業平均燃費（CAFÉ）規制が始まり、小型車への移行を促すなど米国自動車産業のその後に大きな影響を与えた。

米国カリフォルニア州は地形的な問題等から大気汚染がなかなか改善しない状況にあり、走行中に汚染排出ガスを全く出さない車の販売を、同州の販売量が多い上位6社に義務付けるZEV（Zero Emission Vehicle）法を1990年に公布した。対象のメーカーはバッテリー電気自動車（BEV）の開発に着手する。しかし当時のバッテリー技術では走行距離など実用性が乏しくコストも高く実現性が危ぶまれていた。代替技術の一つとして1994年頃から燃料電池自動車（FCV又はFCEV）の開発も一部で始まった。州政府も規制開始に当たりBEVの開発状況を確認して緩和と延期を行っている。その後のリチウムイオン電池の実用化でBEVの性能が大きく改善し、2010年に三菱自動車（株）と日産自動車（株）が世界で初めて量産型BEVを発売したことを契機に徐々に車種と台数が増加している。尚、カリフォルニア州は2018年型以降の対象メーカーを拡大するなど、大幅な普及を狙ってZEV法を改正している。

1992年に「気候変動に関する国際連合枠組条約」が採択されて1994年に発効して、地球温暖化対策は各国政府の重要な課題となった。自動車からの温室効果ガスの排出を抑制するために燃費規制が欧州や日本などで始まっている。米国もエネルギー法で定められていた燃費規制

の強化が図られた。現在では中国を始め主要な国で燃費規制が制定、強化されている。燃費の向上では1997年にトヨタ自動車（株）（トヨタ）から乗用車では世界で初めてのハイブリッド車（HEV）が発売され、その後普及が進んでいる。さらに走行中にCO₂を出さないBEVやFCVの普及が運輸部門の温暖化対策で各国の重要な政策となっている。

（3）自動車の普及と社会・経済への波及

一人当たりGDPと自動車の世帯当たり保有台数には相関がみられ、経済成長が自動車の市場に大きな影響を与えることは以前より知られている。今、先進国の市場が飽和している中で、途上国は経済成長とともにその台数を大きく伸ばしている。2000年には200万台規模だった中国の新車販売台数は急速な経済発展により2018年には2800万台と世界一の市場規模となった。

日本は1960年に乗用車の新車販売台数は16万5千台だったが、経済成長とともに車の販売は急拡大して1990年に510万台を記録している。保有は2017年で約6100万台、世帯当たり1.062台となった。自動車の普及に伴い道路網も整備され1960年に97万kmだった実延長は高速道路網の整備を合わせて2017年に128万kmとなった。4輪車の生産台数は現在1000万台弱で推移し、そのうちの半数近くが輸出されており、経済的にも日本の自動車産業は製造品出荷額や設備投資、輸出額の2割を占めている。また雇用の面でも関連産業全体では就労人口の8%を占め、その社会・経済的な影響は大きい。

自動車の普及は日本人の移動手段を大きく変えた。就労の場所や都市圏の拡大に合わせ移動に費やす時間と利便性から自動車は一つの選択肢となった。その結果、乗合バスの総輸送者数は1960年の6億4450万人から1968年の101

億4380万人をピークに2016年は42億8850万人まで減少している。特に、地方ではバスや鉄道から車へのシフトが進み、路線の廃止が進んだ。東京のように公共交通機関が充実したところでは自動車のニーズは少なくなるが、一方で地方では必要不可欠なものとなっている。自家用自動車の世帯当たり保有台数は最も少ない東京で0.445台に対し、最も多い福井県では1.745台(2017年)となっている。しかし、高齢化が進む現在、新たな問題が起きている。その一つが交通弱者の増加で、公共交通機関が失われた地方で自動車を持たない人々が、日常生活のための移動がままならないという事態が起き始めている。

2. 新たなシーズと自動車の革新

(1) デジタル化の進展とインターネット社会

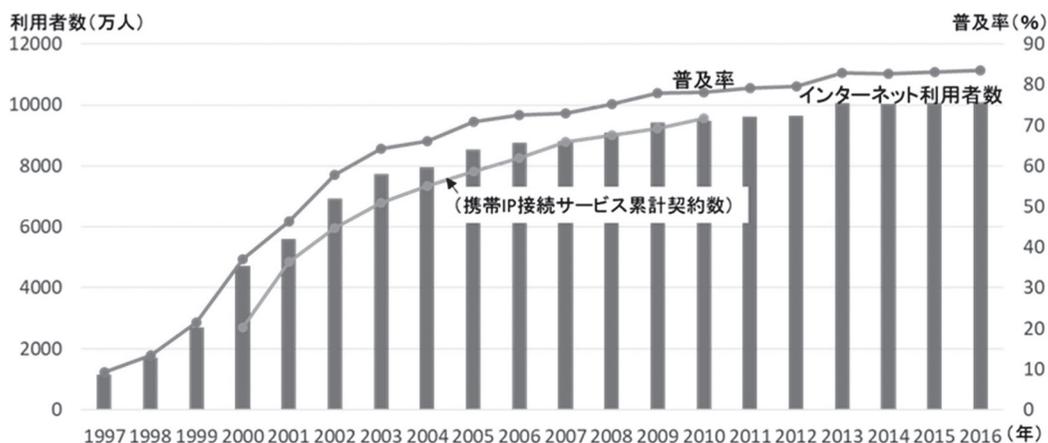
2000年代に入ると技術の進展に伴う大きな変化が訪れた。1990年初頭には僅かな利用だったインターネットは双方向電気通信の半数を占めるようになった。インターネット関連のスタートアップとして1995年にAmazon.com Inc.

1998年にGoogle Inc.、そして2004年にはFacebook Inc.が創業している。それまでインターネット接続の中心はブロードバンドとパソコンの利用だったが、1999年に(株)NTTドコモが携帯通信を用いたインターネットサービスi-Modeを立ち上げ、日本は世界に先駆けて携帯のネットビジネスを始めてインターネット利用者は急速に拡大した。(図1)

2007年に米国Apple Inc.が世界で初めてのスマートフォンを発売し、それを追いかけて多くの会社がGoogleの開発した無償OSを採用して製品を売り出したことでスマートフォンは急速に普及拡大し、世界のインターネット接続人口を押し上げた。米国の調査によればスマートフォンの18歳以上の普及率は2018年で調査対象先進国の中央値で76%、途上国で45%となっている。

スマートフォンの普及は世界を大きく変えることになった。個人が情報にアクセスするだけでなくSNSなどを通じて個人の考えを広く発信することで政治をも動かし、また情報の利用や経済の仕組みまで変えている。それは自動車のビジネスにも大きな変化をもたらし、ライド

(図1) 日本のインターネット利用者数と人口当たり普及率の推移



出典：総務省平成24年度版、平成29年度版情報通信白書データより筆者作成

シェアなどの新たなビジネスが生まれている。

ITの急速な進歩の背景には、高集積化を非常にスピードで進める半導体技術によるところが大きい。Intel Corp. 創業者の一人であるムーア（Gordon E. Moore）が唱えた経験則ムーアの法則は、ICの集積度が毎年一定比率で増加するとされ、現実にはICの高密度化が進んできた。その結果、コンピュータの性能は著しく向上し、スマートフォンの性能は少し前のパソコンに匹敵するレベルに達している。また、通信技術の進歩、中でも移動通信は3G、4Gと新たな規格が採用されるにつれて、データ伝送の高速化と回線数を飛躍的に増加させている。

コンピュータの性能進化は様々な変革をもたらした。その一つが人工知能（AI）の実用化である。AIは1965年に米ダートマス大学で行われたダートマス会議が研究の始まりとされており、この時にArtificial Intelligence：AIという言葉も提唱されている。その後、何度かのブームがあったが実用化には至らなかった。しかし2000年前後に大量のデータからAI自身が知識を獲得する機械学習や深層学習（ディープラーニング）が、コンピュータの能力向上と相まって実用化され、AIは飛躍的な進歩を遂げている。2011年にはクイズ番組でAIが人間を破り、また2016年には人間を超えるのが難しいとされてきた囲碁でAIが世界トップクラスの棋士を破り大きなニュースとなった。AIは現在コールセンターや人材マッチング、需要予測、医療診断など様々な分野での実用化が試みられている。その一つが自動運転車である。またAIを含むITによる工場のスマート化を進めるIndustry4.0などの研究も始まっている。さらに、あらゆる機器をインターネットに繋いでデータを取得し、その分析から新しい価値を生み出そうとするIoT（Internet of Things）や高速大容量の移動通信規格5Gの実用化も始まった。これ

らは車にとっても今後の重要な技術となる。

（2）自動車産業の変革の予兆

今、これまで自動車の中心的な技術ではなかったITやAI技術の進歩によって、新しい自動車ビジネスが生まれようとしている。先進的なIT企業を中心に、車にある様々な情報から新しいサービスを提供するコネクテッドカーや自動運転車の研究が進んでいる。またIT系のスタートアップ企業を中心となったライドシェアリングの市場規模は2017年で約6兆円とも言われている。一方でVolkswagen AGのディーゼル排ガス不正事件をきっかけに欧州で広まった急速なEVシフトや中国の規制などで電動車両普及の期待が高まっている。

これらの大きな変化を捉えて独Daimler AGは2016年のパリモーターショーで将来戦略としてのCASEビジョンを発表した。CASEは造語でConnected（コネクテッド）、Autonomous（自動運転）、Shared & Services（シェアリング）、Electric（電動化）を意味し、メディアから広まり一般化した。

コネクテッドとは、これまでの車内の閉じた空間から、車と外を通信でつないで新たなサービスを提供するもので、車の走行や運転者を含む内外のリアルタイムな大量の情報（BIGデータ）を解析して様々なサービスを行うことで、従来にない付加価値とビジネスを生み出そうとしている。多くの車のリアルタイムな走行情報をナビ情報センターに上げて最適なルート案内や災害情報などを提供してきたナビ・システムはその先駆けだが、今後は安全運転の支援、車のメンテナンス支援などの車のニーズに適したものに加えて、様々なドライブにまつわるコンテンツの提供も考えられている。特に自動運転が実用化されればサービスの拡大が期待できる領域にIT企業が大きな期待を寄せている。

自動運転技術は1970年代ごろから各国で自動車の安全対策として研究されてきたが、世の中に無人運転の可能性が広く知られるようになったのは2004年と2007年に行われた米国国防総省国防高等研究計画局（DARPA）の無人の自律型自動運転車の研究プログラムであった。2007年のUrban Challengeは、市街地を模したコースで他の交通や信号等がある中で交通規則にのっとり走行することが求められ、世界中から集まった11チームのうち6チームが完走した。参加チームの多くは大学が中心であったが、その後、これに関わった研究者によって自律型自動運転車の研究は加速している。その一つがGoogleで、2012年にAIを用いた自律型自動運転車による公道実証実験を開始したことで、世界中のメディアから大きな注目を集めることになった。今ではGoogle（現Alphabet Inc.）から分社した自動運転車開発子会社Waymo LLCを始めとするIT企業と自動車メーカーの開発競争となっている。

シェアリングは車の共同利用を意味し、これまで個人の車は購入して所有することが長い間の価値観であったのに対し、欧州では駐車場問題に端を発し、また環境意識の高まりとともに、「持つ」から「使う」という価値変化がカーシェアリングを拡大させてきた。しかし、まだ所有する価値観を持つ人も多く、新車販売台数は依然として高い。一方で自家用車のドライバーと移動を希望する人のマッチングサービスであるライドシェアは、2010年に米Uber Technologies Inc.がスマートフォンのアプリを用いて事業を開始した。ライドシェアは多くの国で規制改革も進んできており、今後さらに市場の拡大が見込まれている。

電動化は、温暖化対策としての燃費規制やZEV規制を実現する上での基幹技術であり、各国の政策とも相まって電動車両の開発が進め

られている。電動車両としては電動モーターとの併用で内燃機関（ICE）を効率よく使い燃費を向上するハイブリッド車（HEV）、走行中のCO₂排出がゼロのBEVやFCV、バッテリーに充電した電気ですぐの電動走行が可能で、総合燃費にも優れたプラグイン・ハイブリッド車（PHEV）がある。

またITの進歩は新たなモビリティサービスを生み出した。様々な交通手段による移動を1つのサービスとしてシームレスにつなぐ新たな概念として、欧州からMobility as a Service：MaaSが生まれている。2016年にフィンランドのMaaS Global OyがスマートフォンのアプリWhimを用いたサービスを開始している。スマートフォンのアプリから移動手段を選択し決済ができる統合型のサービスで、公共交通機関、タクシー、レンタカー、レンタサイクルが対象になっている。フィンランド政府も道路交通分野から鉄道分野等への拡大のための規制緩和を順次進めている。MaaSの事業化はその後、欧州や米国でも追従する動きがあり、日本でもその検討が始まった。

3. CASEやMaaSへの期待と課題

(1) コネクテッド

CASEやMaaSはこれまでの自動車の在り方を大きく変える可能性がある。コネクテッドは言い換えれば車のスマートフォン化であり、スマートフォンが開いたような情報を基にした新たなビジネスを模索しており、その中心となるプラットフォームは自動車メーカーとIT企業が闘ぎ合っている。未だ自動車ビジネスの周辺的なサービスが中心だが、BEV等の充電スタンドへの誘導情報の提供や、電力を活用するスマートグリッドのネットワークなどの新たなクルマの利用の可能性も広がっている。またド

ライブの情報や娯楽を提供するインフォテインメント (infotainment: informationとentertainmentからの造語) と呼ばれるシステムを用いて、移動中の様々なサービスも考えられている。しかし、ネットワークに接続することが外部からの侵入を容易にすることからセキュリティ上のリスクは大きな課題である。2015年にFCA (Fiat Chrysler Automobiles) のチェロキーは車載インフォテインメント・システムの専用無線回線を通じて外部からコンピュータに侵入し、遠隔操作でエンジンやハンドル、ブレーキなどを制御できるとのことが明らかになり140万台のリコールとなった。コネクテッドや自動運転には安全上も含めて大きな課題が残っている。

(2) 自動運転車^(注)

自動運転車はシーズ発の開発が先行し、そのニーズがやや曖昧である。自動車メーカーは自動運転車の開発に多くの資源を費やしているが、元々の狙いである人間を支援し自動車事故ゼロを目指す技術の開発というよりは、ドライバーレスの自律型自動運転車を実現するための技術

開発へ方向が変化している。自律型自動運転車への日本政府の期待は高く、2014年に総合科学技術・イノベーション会議の下に戦略的イノベーションプログラム (SIP) として11のテーマを定め、自動走行システム (自動運転) はその一つとして推進されている。日本で期待されていることは、交通安全に加えて、少子高齢化の進展に伴う交通弱者の救済、あるいは運転者の不足対策、物流の効率化、産業競争力や新ビジネス創造など様々である。高齢化に伴い運転免許を返納する人たちも多くいるが、一方で地方では既にバスなどの公共交通機関が無く、車を利用しないと病院や買い物など生活が維持できないこともあり、高齢になっても自動車を運転せざるを得ない状況にある。乗合タクシーや巡回バス等を運行する自治体もあるが財政負担は避けて通れない。そのようなことから地方では自動運転車の実証試験に参加する自治体もある。また運転者不足はタクシーや物流で既に顕在化しており喫緊の課題となっている。物流では日本の全体の輸送量は漸減しているが、インターネット通販の拡大は飛躍的に小口輸送の量を増

(表1) SAE 運転自動化のレベル

SAE※ レベル	呼称	定義	監視・対応 の主体
0	手動運転	運転者がすべての操作を行う	運転者
1	運転者支援	操舵や加速、減速のいずれかをシステムが支援する	運転者
2	部分的運転自動化	操舵と加速・減速の両方をシステムが支援する	運転者
3	条件付運転自動化	特定の運転モードで、自動化されたシステムが運転操作を行うが、システムからの切替要求に応じ運転者が対応する	システム (運転者)
4	高度な運転自動化	特定の運転モードで、自動化されたシステムが運転操作を行う	システム
5	完全運転自動化	全ての運転モードにおいてシステムが常時運転操作を行う	システム

※ SAE (Society of Automotive Engineers) 米国自動車技術会
 出典: SAE J3016 より筆者意識作成

大きさせてドライバー不足が深刻になった。輸送の効率化と燃費低減のためにトラックの隊列自動走行の実証実験も行われている。

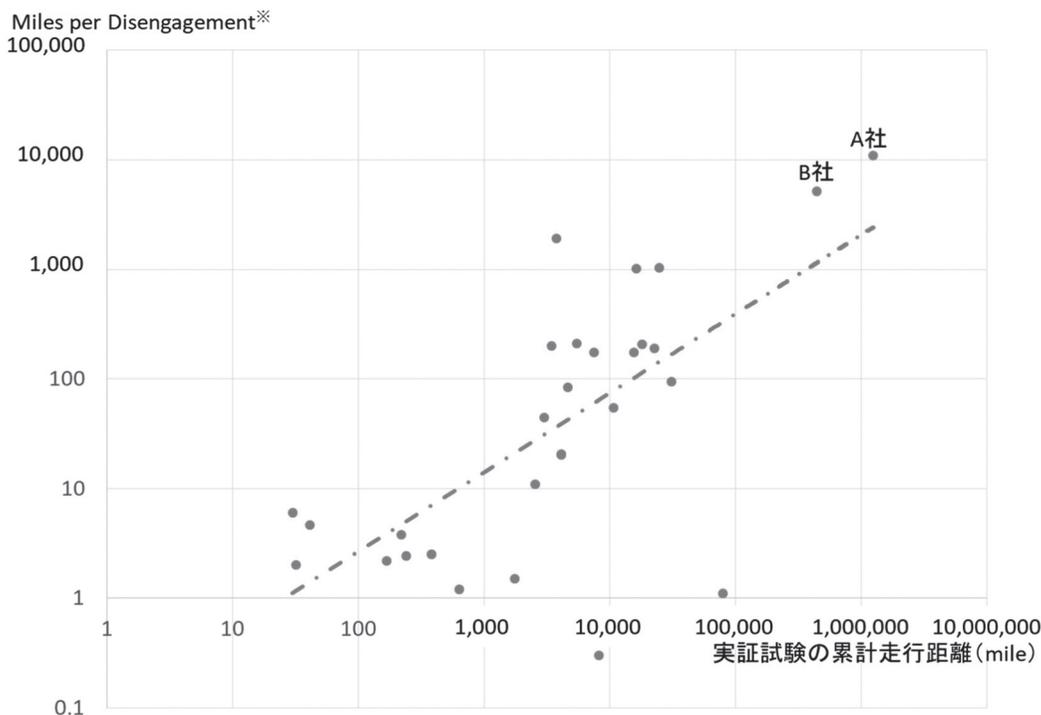
自動運転については米国の自動車技術会（SAE）の「運転自動化のレベル」の定義に収斂しており、レベル1と2は運転者が主体の自動化、レベル3では通常はシステムが運転するがシステムの要求に応じて運転者が対応するもの。レベル4と5はシステムが運転するがレベル4は特定のモードに限定され、レベル5が完全運転自動化である（表1）。自動運転技術の中核をなすのは外界を見るセンサーと地図情報データベース、それらから運転の行動計画を司るAIなどのコンピュータである。

レベル3以上の自動運転の実現には様々な課題がある。一つは技術的な課題である。本来の

狙いとする人間以上の安全性を確保するには解決すべき課題が多々ある。外界センサーは日射や霧、雨、雪などの様々な気象状態においても確実に対象を認識する必要がある。現在、カメラ、電波又はレーザーによるレーダー、高度なシステムではLIDAR（Light Detection and RangingまたはLaser Imaging Detection and Ranging）と呼ばれる機器が組み合わせて用いられる。

特に重要なものがAIである。現在の自律型自動運転技術は機械学習や深層学習（ディープラーニング）と呼ばれるアルゴリズムを用いたAIによって飛躍的な進化を遂げることができた。この機械学習やディープラーニングが優れているのは、大量のデータから機械が法則性を見出すことが可能で、従来の多様な条件に合わせて様々なルートを書き込んだ制御よりもはる

（図2）自動運転車の学習効果



※システムによる運転中に危険を感じるなどで人間の運転に切り替えるまでの距離
 出典：California DMV Autonomous Vehicle Disengagement Reports 2018 の提出 30 社のデータより筆者作成

かに適している。一方で、ディープラーニングのアウトプット精度を高めるには大量の良質なデータを読み込ませなければならない。その為に自律型自動運転車は実際の交通環境で長い距離を走り学習していく必要がある。カリフォルニアでの実証走行試験結果では、自律型自動運転システムが人間と同じ事故の回避レベルになるには、同州の走行環境の学習にまだ数百万マイルの走行が必要だとみられる。(図2) またディープラーニングなどのAIにはその仕組みからくる限界がある。学習していないことは出来ない。すなわち予測不可能な事態には対処できない。認識に誤りが存在する。さらにディープラーニングはニューラルネットワークの中で結果が創られることから、計算の過程が原理上ブラックボックスであり、それが正しいか否かを人間が検証できない「知の死角」と呼ばれる重要な問題がある。

自律型自動運転車が人間の運転する車や自転車、歩行者が存在する環境では、さらに新たな課題が生まれる。人間は相互の関係を感じて適切な行動をとることができる。例えば渋滞の高速道路に側道から合流する場合に、人間は相手のちょっとした仕草などのコミュニケーションで車と車の間に入ることが出来るが、自動運転車は少しでも安全でない状況では立ち往生する。初期に起きた自動運転車の事故は、信号の変わり目の判断のタイミングが人間と異なっていたことで、自動運転車が停止したところへ後続の人間が運転する車が追突した。また人間と機械の関係で言えば、レベル3の自動運転車はシステムの異常があると人間が交代するが、人が運転を代わるのに10秒程度の時間が必要だとされており、過信や依存があることを考慮するとレベル3は現実的でないとの意見もある。

また法的な整理も自律型自動運転車には必要である。道路交通法では、各国の法律の元とな

るジュネーブ協定やウィーン条約で「運転者がいること」と規定されている。2014年にウィーン条約が改定されてレベル3までの自動運転が可能となり、英国やドイツ等でそれぞれの道路交通法が改正されている。日本はジュネーブ条約加盟国でその改正作業は遅れているが、2019年に道路運送車両法と道路交通法が改正され、運転者が道路運送車両法に規定された自動運行装置を使用して自動車をを用いる行為は運転に含まれるとして整合を図っている。また自動走行装置が故障した状態での使用禁止や、運転者が監視と故障時の操作ができる場合には携帯電話等の使用ができるようになった。しかし、レベル4以上の自律型自動運転はこの中には含まれない。尚、公道実証試験においては運転者が遠隔で運転操作が行える遠隔型自動運転システムが認められている。

事故における賠償責任についても大きな課題である。現行の自動車賠償責任保険においてはレベル3までは運行供用者すなわち所有者等の責任が適当という方向と言われているが定まったものはない。レベル4～の自律型自動運転車では更に難しくなる。所有者なのか搭乗者なのか、またはメーカーの責任なのかについても社会的なコンセンサスが今後必要になる。また製造物責任法においても証明が困難な事態が多々あり、特にAIについてはブラックボックスで原因解析が難しいこともある。

自律型自動運転車のように全ての運転の判断をシステム、すなわちAIに委ねる場合に起きる問題の一つがAIの経験していない状況に遭遇した時の対応である。その一つが英国の哲学者フィリッパ・フット (Philippa Ruth Foot) が1967年に提起したトロッコ問題 (trolley problem) で、避けられない事故で誰を犠牲にするかという倫理的な問題は自動運転車にも当てはまる。自動運転車のトロッコ問題に関す

る研究はMIT等の様々な機関で行われているが、今のところ正解がないという結論で終わっている。しかし何らかの社会的なコンセンサスや指針がないと設計者責任論にまで発展する可能性を含んでいる。

これまで自動運転車の課題について明らかにしてきたように自律型自動運転に対する期待は高いが、その実現には技術開発のみならず様々な分野での研究が必要である。一方で交通事故の削減という視点では、現在の技術や法的枠組みで可能なレベル1、2でも大きな効果があることが明らかになっている。米国のIIHS（高速道路安全保険協会）は先進運転支援システム（Advanced Driver-Assistance Systems：ADAS）の一つである車線逸脱警報（LDW）の効果について正面および側面衝突事故を11%低下、傷害率を21%低下させ、また単純集計では死亡事故の発生率を86%低減させていると報告した。また衝突被害軽減ブレーキ（CMBS）の効果について、（株）スバルは、自社の分析で非搭載車に比べて追突事故が84%低下したと報告している。交通事故の低減に向けては高度

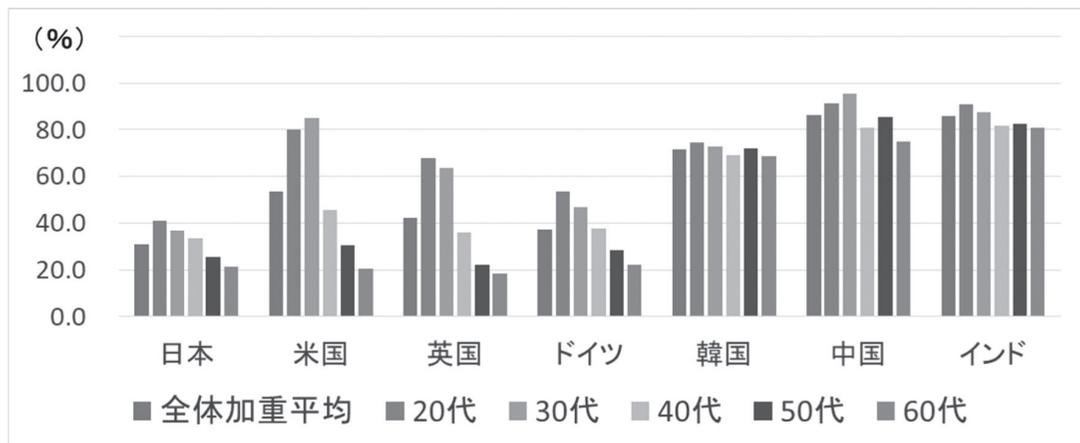
で高価な自律型自動運転車の実現より、人間とシステムの二重の冗長系を持つレベル1、2技術を早期に普及拡大するほうが社会的な効果は大きいと考えられる。

（3）シェアリング

シェアリングは自動車を効率的に使う共同利用として始まり、地球環境問題や消費者の車に対する価値観の変化によりカーシェアリングやライドシェアリングは近年大きく成長している。カーシェアリングは日本でも都市部の車保有の難しさから、維持コストの低さと利便性の高さで会員数が増加している。一方、ライドシェアリングは道路運送法で一般車とのマッチングサービスは規制があり、過疎地などの特区を除いては出来ないことから、タクシーとのマッチングサービスとなっている。またライドシェアの認知度も低く利用意向は他の国に比べ少ない。（図3）

カーシェアリングの課題は、借り出しと返却がパーキングなどの固定された場所に決まっていることから、同じ場所に移動が集中する場合

（図3）各国の世代別ライドシェア利用意向



出典：総務省平成28年版情報通信白書「シェアリング・エコノミーの認知度・利用率・利用意向」データより筆者作成

は他の場所に向かわなければならず、会員数が増加すると利便性が低下するというジレンマがある。また車の運用が借り手のモラルに頼ることで車の快適性が損なわれているとの事例もあった。パリの先進的なEVシェアリングはライドシェアリングに顧客が移行して事業停止に追い込まれた。一方でライドシェアリングではドライバーの管理が課題であり、中国ではドライバーによる事件も起きてその管理が問われることになった。しかし利便性の高さから世界的には多くの国で利用者が伸びているが、今後、利用者の増加によって車とドライバーの空き時間を利用できなくなると利便性が低下する可能性がある。いずれのサービスにおいても自律型自動運転はその欠点の一部を補うものとして期待されている。

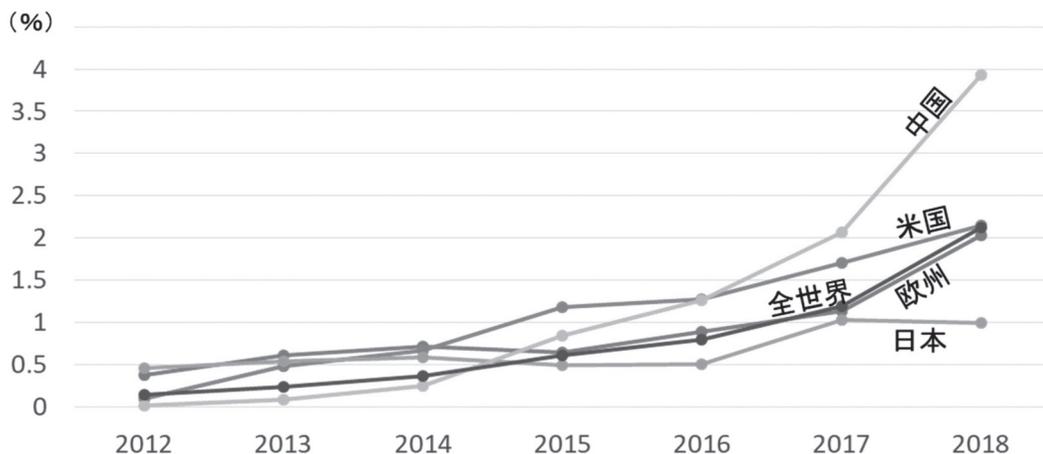
(4) 電動化

電動化のニーズは前述のように大気汚染対策や地球温暖化対策、あるいはエネルギー安全保障、産業政策などの政策的な側面が強い。国際エネルギー機関（IEA）は温暖化対策の重要な技術として電動化を進めている。IEAが洞爺湖

サミットで行った報告に基づく2050年2℃のシナリオでは90%の自動車の電動化が必要としている。特にBEVとPHEVの普及に重点を置いて2009年にカナダ、中国、フィンランド、フランス、ドイツ、インド、日本、メキシコ、オランダ、ノルウェー、スウェーデン、英国、米国と政策フォーラム Electric Vehicles Initiative (EVI) を立ち上げて普及を推進してきた。2017年には2030年にEVI参加国全体の電動車両で全自動車市場シェアの30%を達成するというキャンペーンを進めている。

BEV普及の大きな課題は、従来型の内燃機関（ICE）自動車に対して、未だに価格が高く、重く、一充電での航続距離が短く、充電に時間がかかり、また充電スタンドのインフラが少ないなどで、代替を考える顧客が非常に少ないことにある。しかし前述のように各国政府は温暖化対策などへの重要な技術として、補助金や税の優遇、あるいは通行規制や登録規制の免除など様々なインセンティブを政策として進めている。中国では米カリフォルニア州のZEV法を参考に、中国の販売台数に応じて一定割合のBEV、PHEV、FCVの販売を義務付けた新能源

(図4) 主要国のBEV・PHEV新車販売比率（乗用車全体）推移



出典：OICA、EV Sales、(一社)日本自動車工業会のデータから筆者作成

車（新エネルギー車：NEV）規制を2019年から導入した。現在、中国のBEV・PHEVの台数は大きく伸びて2018年は新車販売台数の4%弱までになった。全世界でも2%を占めるようになったが、日本は販売されるモデルも少なく1%程度で推移している。（図4）

BEVの本格的な普及には、大きな課題である電池の性能とコストの著しい改善が必要で、各国で電池の改良と次世代電池の研究が進められている。2016年時点で電池の性能は2009年当時の3倍のエネルギー密度、コストは1/3となっており、価格は日産リーフの場合で2010年モデルが377万円、電池容量24kwhから2017年の第2世代では317万円、40kwhと価格も性能も大きく改善されている。しかし同等のガソリン車が200万円弱と走行での経済性を差し引いても割高であり、一層の開発が必要である。

電池容量やコストに加えて充電時間も普及の大きな課題で、高速道路などの急速充電スタンドで80%までの充電に要する時間は30分程度と、充電待ちがあれば1時間以上かかることになる。これらに対し、今、期待されているのは、これまでのリチウムイオン電池に用いられている有機電解液を不燃性の無機固体電解質に置き換えることで高い安全性を持ち、大容量で急速充電が可能な全固体電池で、その実用化に向けた開発が進められている。そのカギを担う電解質に可能性の高い材料が見出されたことで期待が高まっている。トヨタは2020年代の前半に全固体電池を量産化すると発表している。

一方で充電スタンドは多くの国で政府の支援を受けて整備が進められており、既に日本でも2018年時点で急速充電7684基、普通充電22,287基と、給油所の30,070ヵ所と比べても充実されてきたが、地方の普及にはまだ課題がある。また北欧などの寒冷地では駐車時にエンジ

ンオイルを温めておくブロックヒーター用のコンセントが家庭や駐車場に設置されているのに対し、日本はマンションなどで充電用コンセントを設置することが困難なことも課題である。

デロイトトーマツの2019年の消費者調査によれば、日本で個人のBEVの購入意向は徐々に上がりつつあるが6%程度で、災害での活用など機能面やアピール性などが評価されているものの、購入には価格の高さが依然として障壁になっていることから、まだ一般的な自動車と比較して購入が検討される状況にはない。価格については、国からの支援として補助金があり、現在は一充電当たり走行距離を加味して最大40万円、PHEVが20万円、FCVが225万円、地方自治体からも助成金や税の減免などで個人の負担を軽減し、普及を進めようとして来ている。

（5）MaaS

MaaSの目的は人や物の移動の効率と利便性を高めることである。自動車や自転車、バス、電車などを乗り次いで目的地に行くために、それぞれの利用に対して予約や料金の支払いといった一連の行動を一つのサービスとして捉えシームレスなシステムとして考えられた。また結果としてシェアリングサービスへの移行を促進し、保有から利用への流れがつくられると考えられている。MaaS Global社の調査によればヘルシンキのWhimによるサービスの導入によって、公共交通やタクシーの利用が増える一方で自家用車の利用が大きく減少して、移動手段の変化が起きたとされている。MaaS Global社に類似のサービスは既に欧州はもとより北米や中東の都市へ拡大している。日本でもMaaSについての検討が始まっており、ソフトバンク（株）とトヨタが中心となった事業実証のコンソーシアムには2019年9月時点で400社が参加している。しかしMaaSの実現には様々な関連

する法改正も必要であり、それぞれの事業が道路運送法や鉄道事業法や鉄道営業法などに基いて運用されてきた法体系を全体のプラットフォームの関りにどのように位置づけるかなどの検討が必要である。またサブスクリプション型の統合型ビジネスモデルでそれぞれの事業者がウインウインの関係を見出せるかなど課題は多い。日本のライドシェアリングがタクシーのサブシステムになったように、移動者の視点でビジネスを構築できるかは規制緩和などの政府の対応にもかかっている。

4. まとめと今後の展望

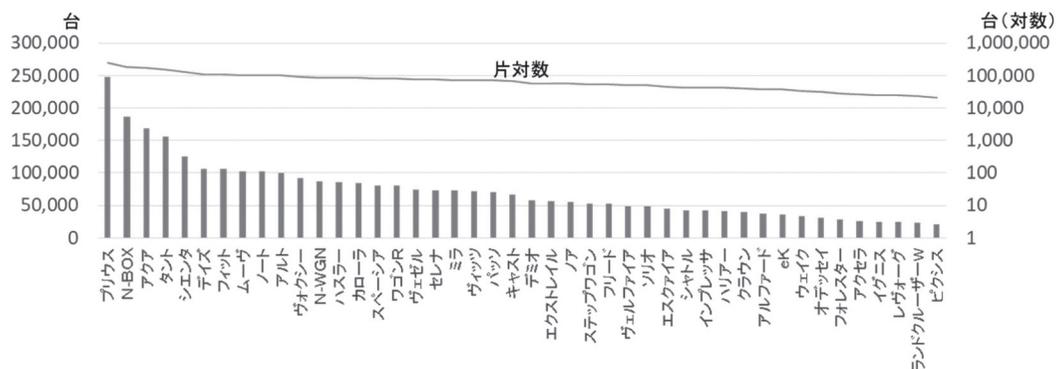
社会や技術の変化はイノベーションの機会であり、それによる新たな製品やサービスは人の創造力とシーズによって生み出され、社会に大きな変化を起こしている。自動車の黎明期、ガソリンエンジン車の発明によって、それまで主流だった蒸気や電気自動車を駆逐して、自動車は実用化の第一歩を踏み出した。Fordの大量生産システムはそれを大衆に買える価格で提供して瞬く間に大きな市場を形成することになった。またGMは自動車ビジネスを革新し、人々はよ

り良いものや自分に合ったものが求められるようになり、市場は更に大きく拡大した。

「市場とは製品の顕在的および潜在的購買者の全てである」と米国の経済学者フィリップ・コトラー（Philip Kotler）が示しているように、その普及と拡大には潜在的な購買者を含む多くの購買者のニーズや購買条件などに合致した製品やサービスを提供していくことが必要である。購買者の選択意識には個々の重みづけがあり同一の製品を好むわけではなく、選択の実態はべき乗則に倣っている。（図5）新たな顧客の創造には彼らの潜在的ニーズを捉えたものが提供できるかがあるが、一方で購買者は顕在化された製品以外は手にすることが出来ない事も事実であり、結果として様々な製品を幅広く提供することが市場の拡大に繋がっている。

自動車の普及によって起きた大気汚染や交通事故などの様々な社会的問題では、国による規制という社会的制約が初めて製品に加えられている。それは自動車産業には大きな変化であり、これまでのより速く、遠くに、便利に、経済的にといった自動車の購買者のニーズとは直接関係がないもので、当時は実現不可能ともいわれたが、それは新たな技術を生み、大きなイノ

（図5）2016年国内販売台数車名別上位44車の分布



出典：（一社）日本自動車販売協会連合会、（一社）全国軽自動車協会連合会データから筆者作成

バージョンを起こしている。

社会的なニーズは時間とともに人々の意識に影響を与えて購買ニーズになることもある。徐々に安全性に対する人々の関心が高まるにつれて安全装備が商品魅力につながるようになり、安全技術の研究開発が加速して、それまでに無かった自動ブレーキ（衝突被害軽減ブレーキシステム）などが生まれ、価格の低下とともに今や多くの車に標準搭載されて事故の防止に役立っている。

新しいシーズが革新的な製品やサービスを生み出すことがある。他の分野から生まれたCCDカメラ、ミリ波レーダー、そしてAIチップなどは今や先進安全システム（ADAS）の中核的な技術となっている。リチウムイオン電池の発明と実用化やパワー制御半導体の進歩がBEVの実用化には欠かせなかった。シェアリングの普及拡大にはスマートフォンの登場が大きなきっかけとなっている。

社会の大きな変化は新しいニーズを生み、また技術の変化は革新的な製品やサービスを生み出す可能性がある。地球温暖化問題は温室効果ガスの削減という世界共通のニーズを生み、産業や国民生活にも多くの要求が生まれている。その結果、太陽電池を始めとする再生可能エネルギーの実用化と普及が図られている。自動車でも燃費規制などと相まってHEVが普及し、BEVも徐々に拡大している。シーズがニーズを生み、ニーズがシーズを生み出すスパイラルな循環が、購買者のニーズを創り自動車の成長を支えてきた。

これまで述べてきたように今、地球温暖化やデジタル化の進展など大きな社会的な、あるいは技術の変化が生まれて、様々なイノベーションが起きている。そのような中で自動車にも革新的な技術が生まれ、また自動車産業を超えたサービスが始まって、その行方に大きな関心が

高まっており、それらの今後と影響について考察する。

BEVは、大気汚染や地球温暖化問題の対応策の一つとして社会的なニーズから各国が普及推進を行っているが、課題もあり多くの人々の購買欲求にはつながらず普及は限定的である。各国政府が普及を進めてきた結果、2018年には世界の自動車販売の1%強を占めるようになったが、まだ継続的な促進策が必要な状況にある。一方で、中国のNEV規制や英国やフランスなどのICE車の販売を2040年までに禁止する意向を踏まえて、今後、各社がBEVやPHEVなどの電動車両のモデルを増やすことで市場は暫時拡大していくものと思われる。現在のような補助金による普及促進策には限界があり、社会コストを増大させ、費用対効果の面で大きな課題となる。社会的なニーズの高いBEVの本格的な普及には、電池のコストや性能に斬新なアイデアや革新的なイノベーションが期待される。また、これまでの自動車の中核技術であったICEから電動機への転換で、部品産業の製品出荷額のうち約3割が影響を受けると考えられることから、産業構造変化への対応も今後必要である。

自動運転車、なかでもドライバーレスの自律型自動運転車はDARPAの無人運転車プログラムが大きなきっかけとなった。無人兵器のニーズとAIのシーズが合致して新しい技術シーズが誕生した。それまで自動車メーカーが進めてきた自動車の安全性を向上するための自動走行技術の研究から、これを契機に無人の自律型自動運転車の実用化へと社会のニーズが変化している。日本でも過疎化対策や雇用問題などを含んで自律型自動運転車への様々なニーズが生まれ政府が中心に研究を推し進めるようになった。また世界の主な自動車メーカーやIT企業も開発競争に参入し、規制改革などで各国政府を巻

き込んだ大きな潮流となった。しかし先行するIT企業のように自律型システムの開発とビジネス化を重視し、早期に市場投入して実経験を増やしながらかつ徐々にレベルアップを進めていくのか、または事故ゼロ化を目指して人間を上回る信頼性を確保するまで実証試験に留めるかなど企業による方針には相違があり、実用化に至るプロセスや明確な共通の目的が見いだせていない。今のところ、いかなる環境でも人より安全な自律型自動運転車の実現と普及にはまだ長い時間が必要である。また技術のみならず法制度や倫理的な問題など、普及に向けては多くの未解決な課題を抱えている。

今、自律型自動運転車の実現に期待されるものにはまだ多くの課題があるため、それぞれの目的に応じた政策なアプローチが効果的だと考えられる。交通事故の削減では、自律型自動運転車の実現を待つよりADASの普及に大きな効果が期待できることは明らかである。それでも全ての車をADAS装備車に代替するにも10年以上かかることから早い計画的な対応が必要である。また過疎地の対策を高価な自律型自動運転車に委ねるよりも、ライドシェア技術と特区を活用した京丹後市の「ささえあい交通」のようなシステムを、利用者視点で改善することや、規制の見直しを進めることで、より地域に根差した交通弱者の対策が早期に可能となる。また運転者不足という問題もコストや導入までの時間を考えれば単に自律型自動運転車に求めるよりも、物流システムの革新や配送方法の改善など他の解があると思われる。自律型自動運転の技術開発はイノベーションに繋がる大きな挑戦であり制度改革と合わせて推進する必要があるが、それとは並行して個々のニーズに適した手段を計画的に実行することが今後求められるのではないかと考える。

ライドシェアリングはスマートフォンという

シーズから事業化され拡大している。一方でコネクテッドはどのようなサービスを顧客や利用者に提供できるかに今後の成否がかかっている。インターネットのビジネスでは検索や地図など様々なサービスを提供するとともに、得られた個人データを活用してターゲティング広告などで収益を得るビジネスモデルが多い。自動車のなかで生まれるデータをどう活用するかが重要で、情報が価値のあるものになるには個人のニーズに合致する必要がある。またプライバシーの保護は大きな課題である。

MaaSは、欧州で利便性や効率の高いシームレスな交通社会を目指すとして研究がされてきた。現在のMaaS Global社はスマートフォンによって一つのアプリで都市部の移動サービスの統合化が実現できているが、将来的にはAIなどによって移動手段の最適化によるストレスフリーでシームレスな移動が可能となり、個人の持つ自動車から移動サービスへの乗り換えによって自動車の総台数を減らし、環境や交通問題などの社会的な課題の対策につながるとして期待は高い。また自律型自動運転車が実現するとシステムの一部として重要な役割を果たすことになる。尚、それが実現すると自動車会社への影響は売り上げの10%、収益の20%がモビリティ共有サービスへ移行すると、PwCコンサルティングは試算している。

AIは自動運転の重要な技術であるとともに、今後の社会に大きな影響をもたらすと考えられている。(株)野村総合研究所と英オックスフォード大学の共同研究では、日本の労働人口の半数近くが近い将来AIやロボットに置き換え可能と報告している。またデジタル化の進展によって既にIT技術者が不足しておりAIの開発人材は日本の大きな課題となっている。自動運転のAI研究では、オープンイノベーションの拠点として米シリコンバレーに施設を持つ企

業も増えており、研究システムや人材育成に大きな変革が迫られている。一方でAI技術は致命的自律型兵器システム（LAWS）に繋がるものとして国連の会議で制限の議論が始まっている。AIが人に危険を及ぼす可能性を未然に防ぐために、倫理ガイドラインが米国や日本、欧州、OECDなどでつくられているが、LAWSや人間のような能力を持つ汎用人工知能（AGI）の研究については将来の課題となっている。AIは、今後様々な分野での活用と研究が進むが、その能力が高くなると社会の構造を変えてしまう可能性を持っている。

おわりに

自動車産業は今大きな変革の時に来ている。新しい技術が新しいビジネスを生み出し、それは従来からの自動車産業の基盤を大きく揺るがす可能性を秘めている。これまで技術のシーズや社会のニーズが自動車をどのように変えてきたか、またこれからどのように変わっていくかについて過去を踏まえながら論じてきた。人の移動したい欲求に自由に何時でもかなえられる自動車は、これまで人々の移動手段として応えてきたのみならず生活の一部として捉えられてきた。新しい技術が生み出す自動車と移動サービスは自動車産業の破壊的イノベーションとしてこれまでの自動車を駆逐するのだろうか？おそらくそれは考えているよりもゆっくりと変化していくことになると思われる。未来は人の意識と行動が創るものである。

（注）自動運転車は英語で autonomous car、或いは self-driving car、driverless car など「運転者が不要な自律システムを搭載した車」を指していたが、日本では最近SAEレベル1～2も自動運転車と称している実態もあり、本稿ではレベル4～5相当のドライバーレスの自動運転車を

「自律型自動運転車」に統一して記す。

参考文献

- アルフレッド・P・スローン Jr.（訳：有賀裕子）
[2003]『[新訳] GMとともに』ダイヤモンド社
（原著：My Years with General Motors Alfred P. Sloan, jr. 1963）
井上昭一 [1982]『GMの研究—アメリカ自動車経営史—』ミネルヴァ書房
フィリップ・コトラー（訳：和田充夫、上原征彦）（1983）『マーケティング原理 - 戦略的アプローチ』ダイヤモンド社。
（原著：Philip Kotler (1980) Principles of marketing.）
ヘンリー・フォード（訳：竹村健一）[2002]『藁のハンドル』中央公論社
（原書：Today and Tomorrow Henry Ford 1926）
ロバート・レイシー（訳：小菅正夫）[1989]『フォード（上）』新潮社
（原書：Ford・The men and the machine vol.1 Robert Lacy 1986）
鎌田 実 [2018]「自動運転車の社会実装にむけての課題と展望」日本学術会議・自動車の自動運転の推進と社会的課題に関する委員会第2回資料4-1-5
水戸部啓一 [2010]「HondaのZero Emission Vehicleへの挑戦」日立財団・季刊環境研究No.156 p78 - 84
Anurag Pande [2012]「米国における安全政策と規制の変遷（1950年～2010年）」国際交通安全学会・7ヵ国における交通安全政策と規制の変遷（1950年～2010年）p 156 - 173

参考資料

- コネクテッドカーレポート2016：PwCコンサルティング合同会社
自動車部品出荷動向調査結果 平成26年度：（一社）日本自動車部品工業会
人工知能学会 倫理指針：（一社）人工知能学会
スバル アイサイト搭載車の事故件数調査結果について：（株）スバル プレスリリース2016
日本の自動車工業2019：（一社）日本自動車工業会
日本のバス事業 2018年度版（平成30年度）：（公社）日本バス協会
情報通信白書（平成24、28、29、30年度版）：総務省

Global EV Outlook 2019: : International Energy Agency (IEA)

Mobility 2001: world mobility at the end of the twentieth century and its sustainability : WBCSD The Sustainable Mobility project

Mobility 2030::Meeting the challenges to sustainability : WBCSD The Sustainable Mobility project

SAE J3016,Taxonomy and Definition for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles : SAE International

参考URL

I T人材需給に関する調査（概要）：経済産業省 2019.4

https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/jinzai/gaiyou.pdf (2019.5.7)

クライスラー、ハッキング対策で140万台リコール：日本経済新聞 2015,7.25

https://www.nikkei.com/article/DGXLASGM25H19_V20C15A7MM0000/ (2019.10.15)

道路統計年報2018：国土交通省

<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/index.html> (2019.10.11)

日本の労働人口の49%が人工知能やロボット等で代替可能に：野村総合研究所 News Release 2015.12.2

https://www.nri.com//media/Corporate/jp/Files/PDF/news/newsrelease/cc/2015/151202_1.pdf (2019.10.10)

人工知能技術のビジネス活用概況：MM総研2017 <https://www.m2ri.jp/news/detail.html?id=238> (2019.10.11)

次世代車に関する消費者意識調査結果（2019年）速報版：デロイトトーマツ 2019.09

<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/jp/Documents/about-deloitte/news-releases/jp-nr-nr201919-report.pdf> (2019.10.11)

シェアリング・エコノミーの認知度・利用率・利用意向：総務省

<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h28/html/nc131230.html> (2019.10.11)

California DMV Autonomous Vehicle Disengagement Reports 2018：各社届出データ

https://www.dmv.ca.gov/portal/dmv/detail/vr/autonomous/disengagement_report_2018 (2019.4.30)

Effects of lane departure warning on police-reported crash rates Cicchino, Jessica B.

: IIHS Journal of Safety Research September 2018 <https://www.iihs.org/topics/bibliography/ref/2142> (2019.10.15)

How should autonomous vehicles be programmed? : MIT News

<http://news.mit.edu/2018/how-autonomous-vehicles-programmed-1024> (2019.10.16)

Sales Statistics 2018 : International Organization of Motor Vehicle Manufacturers

<http://www.oica.net/category/production-statistics/2018-statistics/> (2019.8.5)

UPDATE: Disengagement Reports 2018 – Final Results : The Last Driver License Holder… 2019.2.13

<https://thelastdriverlicenseholder.com/2019/02/13/update-disengagement-reports-2018-final-results/> (2019.10.15)