

完全自動運転車の社会的受容性

Social Acceptability of Fully Autonomous Vehicles

高橋 輝

Akira TAKAHASHI

鎌田 忠

Tadashi KAMADA

Our group's recent research regarding social acceptance of fully autonomous vehicles (AV) is introduced. At first, we estimated the user value and social loss of privately owned cars since the beginning of motorization. Economical acceptance scenarios are also discussed. Secondly, the issue of the responsibility of AV regarding traffic accidents is considered. This is one of the most critical requirements for social acceptance. Thirdly, we discuss ideas on low-speed adaptation to achieve higher safety and more effective use of road traffic capacity. Finally, creating new services that incorporate AV will be considered.

Key words :

autonomous vehicle, social acceptance, motorization, sharing economy, robot, AI

1. はじめに

私ども基礎研究所では、製品ではなく人間側に着目することで将来の事業にまつわる新しい提供価値を発掘すべく、人間の研究を行ってきた。その一環として、群としての人間すなわち社会の特性を研究し始めたのが2015年1月である。未だ歴史の浅い取り組みではあるが、本稿ではその概要を紹介しつつ、車の第2の発明とも言われる自動運転車（ドライバーレスカー）が社会にもたらす影響およびその受容性について考察する。

そもそも自動車は、どのように社会に受容されてきただろうか。自動運転車を考える準備として、初期の自動車に関する歴史的な変化点を並べ振り返ってみた（Fig. 1）。背景要因は省き（飼料の高騰、エネルギー源の移行、工業化、鉄道政策など）、自動車の価値・損失、関連する制度・政策等が姿を現した点を抽出した。馬と違い世話もなく必要な分だけ利用でき、時間あたりの行動半径が拡大される効用があった。通信技術も未発達な時代ながら、短期間のうちに動きの早い地域が入れ替わりながら

先導する形で、自動車の時代が開かれたことが判る。

今日的な自家用車の得失をまとめつつ将来を模索した先行研究として Mobility2030 がある¹⁾。車が2030年代にも持続的な発展ができる移動手段（モビリティ）であり得るかどうか、車と関係業界の世界的企業群が2000年代初めに共同研究を行ったものである。

自家用車の特長としては、①ドア・ツー・ドア、②自由な行程、③人と物の混載、④プライバシー、⑤都度の現金支出が少ない、等が挙げられている。この利点を手にしつつ過度な密集生活を避けたい人々により、自家用車の増加が当分続くと予測した。前提として、事故・環境問題など負の側面を十分抑えられることが挙げられた。日常移動に使う時間は世界中で意外に変わらず2時間程であること、人々が都心に集中し続ければその領域では公共交通が優位なこと、車の所有が困難な人や運転が困難な人は公共交通に依存すること、完全自動運転車のカーシェアが成立する場合には自家用車とも今の公共交通とも違う新たな輸送システムが生まれる得ること、なども示唆されている。

1769年	キューノーの蒸気自動車(フランス) ・運転者が操縦し機械動力で走行する世界初の自動車 ・時速は3km程度 ・自由な行程、物流に期待(大砲の牽引)
1831年	バスの運行開始(イギリス)
1863年	地下鉄が開業(イギリス) ——— 都市圏の事業として公共交通が先行
1865年	改正赤旗法(イギリス) ・既存交通の安全、環境保全、道路保守抑制のための速度抑制 ・低速走行義務化(郊外で約6 km/h、市街地で約3 km/h) ・赤い旗かランタンを持つ先導員が必要、騎手や馬に車の接近を予告
1888年	カール・ベンツに世界初の運転免許が発行される(ドイツ) ・同年に妻ベルタが世界初の長距離ドライブを敢行 ・私的に車を持つことによる生活圏の拡大を示唆
1890年	世界初の時速100km超え(フランス、速度コンテスト参加の電気自動車) ・ステータスに加えスポーツの価値が明確になり始める
1896年	赤旗法廃止の中で世界初の自動車保険が発売開始(イギリス)
1908年	T型フォード量産開始(アメリカ) ・モータリゼーションに依存した都市化・郊外化の加速始まる

Fig. 1 The beginning of motorization

2. 完全自動運転車

完全自動運転車とは、操舵・加速・制動の操作やそのための周辺監視をシステム主導で行い、運転自体には人間が関わることなく走る車である。事故の減少、移動の快適性向上、高齢者等の移動支援など、高度運転支援レベル3までと同様な効果も期待されているが、全く新たな特長として、運転者を完全に解放でき、免許所有者が居ない場合、さらに無人でも運行できる。ドライバーレス・カー、ロボット・カーとも呼ばれる。自家用車の既存の特長の多くを強化し、車群としての制御も加えれば負の側面をさらに抑制できると期待されている。

交通事故の要因として人的ミスが9割以上と言われる中、完全自動運転が事故を抑制できる領域があれば社会的救済の意味は大きい。その領域ではシェアカーの自動配車も可能になり、道路や物流、さらには土地の使い方が変わるなど、世の風景が大きく変わる可能性がある。運転時間を他に活用できれば、住居と通い先との距離関係も見直されるだろう。

なお現行のジュネーブ条約(道路交通に関する)では、公道における一般自動車には必ず人が乗り速度制御など適正な運転を行う義務がある。そのため完全自動運転車は各国で特例的に実験する段階にあり、世界的に普及させることはまだできない。同条約の2015年3月改正案でも、国際法で既に扱いを定めた自動ブレーキ等を除いて、オーバーライド(機械の制御を人の操作で上書きする)および人による機能停止が必要とされており、現状では運転者と認められる人間が必要であることに変わりはない。しかしGoogle、Appleなどが走行実験を積み重ね、あるいはFordが限定用途での実用化時期を前倒しでアナウンスするなど実用化への期待は高まっており、導入に向けた具体的な課題検討が始まっている。

以下では、まず自家用車のユーザー価値と損失を元に、

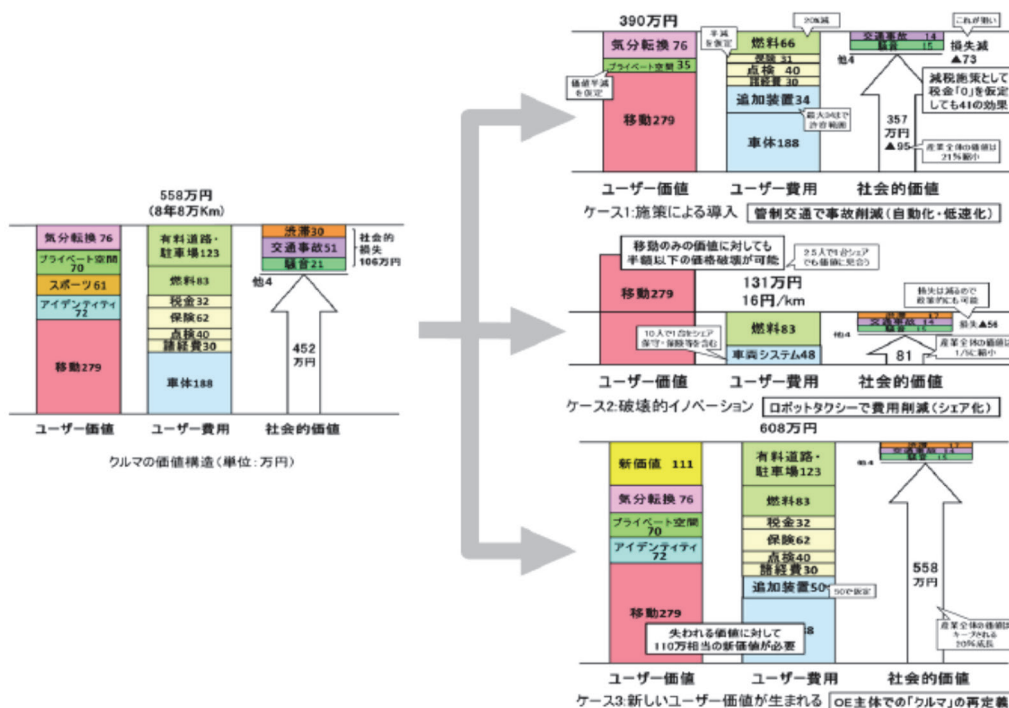


Fig. 2 Three scenarios of fully autonomous vehicles

完全自動運転車の経済的な受容シナリオを考える。次に実用化への最重要課題の一つである、事故の責任問題について考察する。続いて安全性を高めつつ道路の通行容量を有効利用するための、低速化や走行制御の可能性と新たな都市交通の姿を論じ、最後に完全自動運転ならではの新しいサービス創出について検討する。

3. 完全自動運転車の価値・損失と3つの経済的導入シナリオ

クルマには車両価格以外にも燃料・税金・保険・点検・駐車場・通行料などのランニングコストがあり、保有8年・走行距離8万kmとみて平均的な値を積み上げると、「ユーザー費用」は558万円/台程度となる（Fig. 2左）。

ユーザーにとって自家用車の価値は、単に移動の機能だけではない。2013年に当社で行った5千人規模の全国アンケートを分析し、「ユーザー価値」の内訳を試算した。①移動 ②アイデンティティ ③スポーツ ④プライベート空間 ⑤気分転換に類別した。その後の検討で、個々のユーザーにとっての値は大きく変わり得ることも判っているが、我々はこのような価値を値踏みしてクルマを購入していることになる。

他方で車には、交通事故に代表されるように「社会的損失」がある。直近5年間の値を使い、平均的な走行距離8万kmにおける損失を算出した（㈱豊田中央研究所との共同研究）。主なものは①渋滞 ②交通事故 ③騒音 ④大気汚染・気候変動であり、クルマ代のうち106万円は、まわりまわってこの様な損失を埋めるため使われていると考えられる。なお2000年以前、50万円以上に相当していた道路建設などのインフラ整備費用は、近年の値ではグラフに見えてこない程に縮小されている。

「ユーザー費用」から「社会的損失」を差し引くと、452万円/台を「社会的価値」として社会に投入出来ている。この値は、自動車産業の社会的意義に関係し、価値創造のため社会に投下される部分である。社会的価値が負であれば、車を販売禁止にした方が社会的利益になるため、最低限これを正にすることが、経済面から見た社会的受容の要件になる。

ユーザー費用を中心に考えると、商品としての成立には、以下の2条件が必要である。

- ・ユーザー費用 < ユーザー価値（買い手の動機あり）
 - ・提供コスト < ユーザー費用（売り手の動機あり）
- さらに完全自動運転車のように商品が大きく「再定義」される際にはさらに、
- ・ユーザー費用 ≪ ユーザー価値（変化の動機あり）
 - ・社会的価値が減らない（変化の妨げなし）
- の2条件も必要と考えられる。

さて完全自動運転車が社会的に受容されるとして、どんなシナリオが想定されるだろうか。経済の主体である公的部門、民間部門、家計部門がそれぞれ主導するケースとして Fig. 2 右に3つのシナリオを示した。

・シナリオ1：施策による導入＝地方公共団体等が社会的損失を下げるための施策を行う

渋滞・事故・騒音・汚染など道路交通の負の側面を抑制するため、政策的な努力が行われるケース。既存の自動車産業としてはこのままでは社会的価値が縮小方向であり、道路関連施設・運行システム・土地開発・セキュリティなど直接試算に含まれていない産業領域まで含めて事業領域を拡大するなど、新たな取り組みが必要である。関係する社会システムは複雑かつ多岐に渡り、事業展開の可能性を研究する余地が大きいと考えられる。

・シナリオ2：破壊的イノベーション＝既存自動車産業には投資理由がなく産業としての担い手が交代する

ユーザー価値はユーザー費用を大きく上回り社会的損失も減るため、ユーザーと社会全体には変化の動機がある。しかし社会的価値が減少するため既存の自動車産業は縮小傾向となり、投資対象として魅力がなくなりむしろ抵抗の動機が生じる。ただし新規参入者にはゼロから大きな市場が得られることとなり、いわゆる破壊的イノベーションが起きる条件が整っている。既存の自動車産業にとってはワーストシナリオであり、備えが必要になる。

・シナリオ3：新しいユーザー価値が生まれる＝利益拡大のため自動車産業が投資する

失われるスポーツ価値（運転の楽しみ）に代わり、新価値が見えてくるケース。既存の自動車産業に継続的な成長が見込めるのはこのケースのみである。

なお価値構造が完全自動運転車でどう変化するかを試算は、次の仮定を置いた。

- (1) ユーザー価値については、運転をしなくなることでスポーツ価値が無くなる。交通管制されるシェアカーの場

合は、さらにアイデンティティの価値が無くなり、プライベート空間の価値は半減するとした。ロボットタクシーへ転換するケースは、移動以外のユーザー価値が全て無くなるとした。

(2) 社会的損失については、渋滞は車間の最適化により減少し、管制交通の下では消失するとした。事故は自動化および流れを整える速度制御によって減るとした。また無駄な騒音も減少するとした。

(3) ユーザー費用については、管制交通のケースで保険が半減、燃料費が減少、税金・通行料は免除、駐車場は道路等で無料とした。ロボットタクシーのケースでは、燃料代は現在と変わらず、追加装置はユーザーに転嫁されず、それ以外の費用を10人でシェアするものとした。

4. 完全自動運転車の事故責任

1964年開業の新幹線は未だ死亡事故1人(自殺を除く)であるのに対し、1963年から順次開通した高速道路での交通事故による死傷者は12,493名(分離統計のある1969以降合計)であり²⁾³⁾、インフラの工夫も含めた自動運転の進展等あらゆる可能性を通じて、引き続き事故の低減を図っていく必要性が認められる。

日本で昨年起きている交通死亡事故は、「1100台中1台は死亡事故を犯す」量に相当し⁴⁾、全世界ではもう一桁悪い状況にある。それでも車の使用は社会に受容されており、利便性・効用とのバランス、および事故の責任を何らかの形で取る方法との組み合わせが、結果として歴史的に認められているからだと考えられる(Fig. 3)。

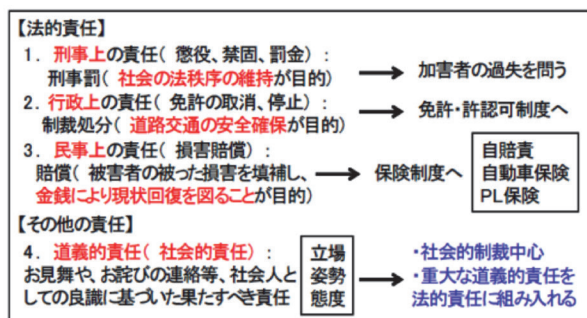


Fig. 3 Responsibility for accidents

責任区分	想定加害者	内容
刑事責任	プログラミング責任者	業務上の過失責任
行政責任	運営者・製造者	改善命令・許認可抹消
	システム	免許?停止
民事責任	システム	賠償金支払い ⇒車両価格に載せる? 国+民間ファンドでプール
道義的責任	運営者・製造者	PL訴訟? ⇒PL保険制度の充実

責任所在の考え方: 責任を取れる主体
人間・法人・疑似人格(ex. AI)

Fig. 4 Responsibility of autonomous driving

自分で判断する人工知能を搭載した完全自動運転車が走る社会では、責任の発生する各ケースを抽出するとFig. 4のようになり、明確な過失者がいるケースだけでなく、システムを加害者とみなすケースが含まれる。法律上は、現行の民法における「法人」など、弁償などの行為能力があれば人でないものに「人」格を与えることがあり、人工知能を人とみなして罰することも可能と考えられる。課題は如何に弁償能力を持たせるかにある。

乗員・周囲の過信や周囲の異常事態などで自動運転車のシステム能力を超えたと思われる事故も発生し得る。初期の段階では運行者と製造メーカーの間で事故責任に関する緊張関係が生まれると予想されるが、行政と保険制度により社会受容可能な形が模索されることが考えられる。日本では現在、自動車保険は5兆円規模の産業になっている。保険会社は自動車保険の利益率を行政に監理されているため、事故そのものが減ると保険市場は縮小する。PL保険や保証大型化によってその逆風を防ぐと予想し、事故削減の経済的な恩恵を保険会社と自動車メーカーが二分していくと仮定すると、最終的にはFig. 5の様な流れが生じると考えられる⁵⁾。この予想の定量的な精度向上は今後の課題である。

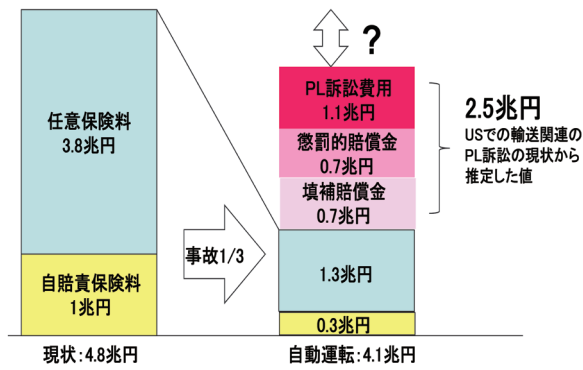


Fig. 5 Change of automobile insurance

事故責任の面で社会的な受容性も考えて自動運転のシステム構成を考えた一例を示す (Fig. 6). システム主権であればシステムは免許を保持していなくてはならないと仮定した. 行政か業界団体が決めた出荷テストにパスして適合マークを貰うことが, 最低限の品質を保証する証として製造メカ責任の担保につながると予想される. システムの学習能力向上と併せて, この適合認証の問題設定と運用が, 自動運転のための AI 開発企業において競争力に直結すると考えられる.

道路交通法などの個々の条文の存在意義を尊重して制限速度など明示的なルールを順守し, また安全義務など曖昧な条文に対しては判例や要件事実 (法律効果を発生させるために主張立証しなければならない具体的事実) を照らし合わせて判断する装置が, 拡張された新しい機能安全の考え方になる可能性がある. 他分野では法律や規範を論理記述する取り組みも始まっており, 条文と判例や要件事実を論理記述し, 法と現在の状況を比較チェックしながら走ることも可能になると考えられる.

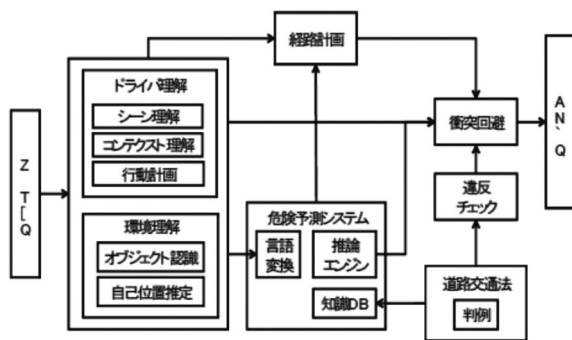


Fig. 6 Constitution of autonomous driving vehicle to follow traffic regulations

ロボットの世界ではいわゆるロボット3原則があり, この考えは概ね社会に受容されている. 人工知能自身を罰する法律が出来るとしたら, この原則に基づいて細部が立法されていくと考えられる (Fig. 7).

アイザック・アシモフのロボット工学の三原則 【Isaac Asimov's three laws of robotics】	
第一法則	ロボットは人間に危害を加えてはならない。またその危険を看過することによって、人間に危害を及ぼしてはならない。
第二法則	ロボットは人間に与えられた命令に服従しなくてはならない。ただし、与えられた命令が第一法則に反する場合はこの限りではない。
第三法則	ロボットは前掲の第一法則、第二法則に反する恐れのない限り、自己を守らなければならない。

注) アイザック・アシモフ「われはロボット」より

Fig. 7 Three laws of robotics

法律の拠り所としての議論には未だ至っていないが, 「倫理」に関しての論議も始まっている (Fig. 8). 国内においても人工知能学会に設置された倫理委員会や, AI 研究者から哲学・倫理学者といった幅広い有志が参加する Acceptable Intelligence with Responsibility(AIR) が 2014 年から活動を始めており, 「知能技術が社会的な受容性を得るためにどのようなことに留意すべきか」「人間と人工知能融合時代の社会の制度や倫理等」について議論を行っている⁶⁾⁷⁾⁸⁾.

組織名	国	設立年	概要
The Future of Life Institute (FLI)	アメリカ	2014年3月	ボストン(MIT, ハーバード大)を中心に人工知能などの新技術が人類がうまくコントロールできるように研究を支援。
AI100	アメリカ	2014年12月	スタンフォード大が立ち上げ, 人工知能の社会や経済に対する長期的(100年)な影響を学際的に考える材料を提供。
Future of Humanity Institute (FHI)	イギリス	2005年	オックスフォード大 哲学科の下部機構として設立. 技術進化によってもたらされる倫理的ジレンマ, リスクを検討。
人工知能学会倫理委員会	日本	2014年9月	人工知能学会に設置され, 人工知能のもたらす影響についての研究のアウトリーチ活動を実施。
Acceptable Intelligence with Responsibility (AIR)	日本	2014年9月	幅広い有識者が集まり, 人工知能が浸透する社会を考えながら, 社会制度, 倫理等のテーマについて議論。

Fig. 8 Actions regarding robotics ethics

5. シェア化・低速化

ここまです経済面から, 次に事故責任の面で, 完全自動運転車の社会的受容性を検討し, 成立の可能性をみてきた. 続いて完全自動運転の特長を活かす使い方として, 自動配車のシェアカー, および安全性向上と道路容量活用のための低速化について考え, 社会的な影響を検討した.

基調論文

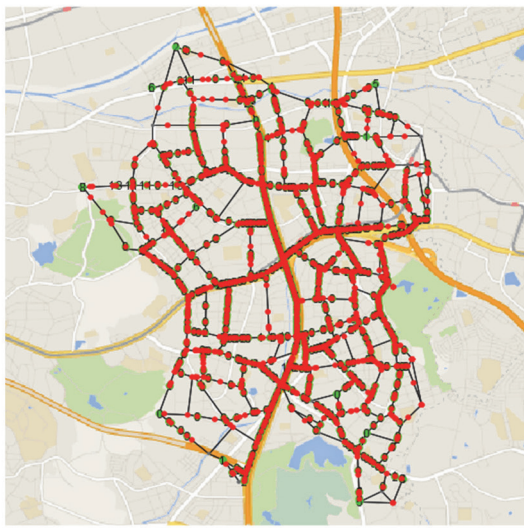


Fig. 9 Multi agent traffic simulation

名古屋市の外縁部にあたる名東区をサンプルとして、パーソントリップ調査⁹⁾の移動データをもとに、自動運転シェアカーの必要台数を走行シミュレーションで見積もった (Fig. 9)。区内移動のみを対象、自動運転シェアカーが選択肢に加わるとして、予め作成した交通手段選択の確立モデルに従い、利用者数を推測している。費用、許容待ち時間、走行速度等を仮定し、マイカー利用 (1人1台)と同程度の人数が利用する条件下では、マイカーの1/100にあたる台数で同じ需要を賄える可能性が示唆された。この条件で事業者の採算ラインをサービス開始時点で計算したところ、1台あたり1800万円の結果を得た。車両の自動化には通常ここまでコストはかからないと予想されるので、高額なセンサを付け、かなり高額のPL保険に入っても採算に乗ると考えられる。

なお1台あたりの走行距離はほぼ1桁伸びる。シェアカーを事業者が保有・整備すると考えれば、部品は長寿命化から距離あたりの整備コスト抑制へと評価軸が移り、故障予知システムの市場も大きく伸びると考えられる。この面からは、車両および部品のバリエーションが減ると予想される。

また完全自動運転車を信号無しで運行した場合 (衝突回避のみ)、速度をどこまで落としても今より遅く着かないように出来るかを検討した。実際の都市 (東京都)を想定し、現在の最高速度設定60km/h + 信号制御と同等の平均速度が得られる交差制御の可能性を、交差点のミクロシミュレーションおよび東京都のマクロシミュレー

ションで検討した。結果約2/3の交差点で無停止交差を実現できれば、最高時速を25km/hに抑えても現在と同等の所要時間で済むと見積った。これは東京の自動車平均時速である17.6km/h¹⁰⁾に近い。最高時速を25km/hに落とせば、ITARDAのデータから交通事故の87%¹¹⁾が削減されると期待できる。軽量化の余地も大きくなり、CO₂消費量の削減や部品の摩耗を抑えることも期待できる。

実際には歩行者との交錯があり、車側の意図を歩行者に伝える車外表示、人が車群の間を渡れるようにする通信制御、誘導など人のサインを理解するAI、等も必要になる。今後はこれら関連技術の開発・普及の進捗を見ながら、ミクロ・マクロなシミュレーション等により時々に必要な予測を行うことが期待される。

なお事業者が所有・運行する形の完全自動運転車では、利用者にとっては免許不要かつ利用する時間だけの占有・支払いが想定される。利用者が駐車場を気にする必要はなくなり、よりドア・ツー・ドアに近い運行が可能になるのと同時に、都市には新たな土地が生まれる。公共交通との境目は緩やかなものになり、子供や高齢者などを含め現在の車よりも利用者が増える可能性がある。また自家用車と比べて荷物を積み下ろす回数・手間が増える場面も考えられるが、物流車の共用等で別送の低コスト化が同時に進むことも考えられる。自動連結や自動追従走行によって牽引や隊列走行などの容量変化が容易になる可能性もあり、軽自動車や大型車の一部、貨客それぞれの専用車などは別形態へ変化することも考えられる。車両側だけでもこのように多くの可能性があり、さらにインフラ側の変化も考えられる。完全自動運転シェアカーの得失の定量化について、引き続き研究余地は大きい。

6. 新たなサービス

先に完全自動運転の経済面から、導入可能性のある3つのシナリオを検討したが、経済的な可能性と同時に時間軸上での導入シナリオの成立性を考えていく必要がある。Fig. 10に示す定性的な関係図の中で、「シェアカー」「交通事故低減」などの特徴的で重要な変化について、その流れを加速させる要因として「移動時間の透明化」、

水を差す要因として「社会セキュリティの低下」に注目し、新たなサービスを描いてみた。

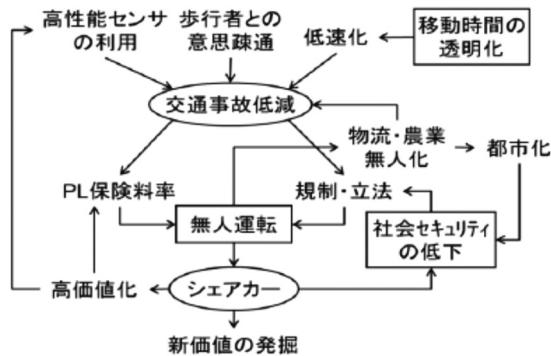


Fig. 10 Relationships among major parameters

移動時間の透明化とは、利用者が移動に要する時間を意識しない環境（サービス）を実現する考え方である。

Fig. 11 のスマホアプリは、生活スケジュールの中で移動時間を見えなくする。完全自動運転になればクルマの中で出来ることが格段に増えるとすれば、メールチェック・会議・食事などはストレスなく移動中に行われ得る。「いつ・どれだけの時間」移動するかが大きな問題にならないとすれば、自動運転シェアカーにおける配車・経路選択の自由度が上がり、更に廉価なサービスにつながると考えられる。この切り口ではITベンダー等の進出が予想され、車業界が注意すべき戦略と言える。

社会セキュリティ（街の治安維持）については、自動運転シェアカーがテロリストにも利用され得る一方、警察や民間による防犯巡回など街の治安維持に役立つことを1つの新価値として想定することができる。

7. おわりに

これまでに完全自動運転が広く実用されているシステムとしては、エレベーターや専用軌道を走る新交通など排他的かつ監視された系統や、航空機・船舶・産業用などで、突発的事態に対応できるプロが搭乗または遠隔操作する事例しか無かった。その意味で完全自動運転シェアカーは、大きな飛躍を伴う挑戦と捉えられる。

しかし初期の自動車が示した特長を改めて素直に見直すと、必要な時だけの利用やより広い人々により広い移動の自由をもたらすという意味で、完全自動運転シェアカーは正常進化であると言える。画一的でないニーズを持ちシェア経済に親しんでいる世代が世界的に台頭する中で、変化の敷居はさらに下がるであろう。車の所有やメンテナンスに人が合わせるのではなく、これまで移動が困難であった人々を含めあらゆる人の移動ニーズに合わせるサービスそのものが価値となる。移動時間の概念が変わり、運転免許・整備・燃料補給・外食などの周辺業界も含めて、さらには都市構造の変化といった社会の構造変化につながる可能性が高い。

他方で占有されるモノとしての車ないしモビリティ機材にはより明確な特長の発揮が求められ、その開発成果はロボットや車未満の小さな乗り物の形を取ることもあれば、牽引の容易化などで自動運転シェアカーの利用場面をさらに広げることにもなるだろう。

外出の動機やスタイルも時代と共に変化して行く。コトとモノの変化が相まって現れてくる移動サービスの新価値を引き続き注視し、事業ドメインの対応を通じて、社会への貢献に役立てて行きたい。



Fig. 11 Scheduler application concealing trip time

参考文献

- 1) WBCSD, “Mobility 2030: 持続可能な社会を目指すモビリティの挑戦”日本語版 Full Report 2004
- 2) 公益財団法人交通事故総合分析センター 交通統計
- 3) 警察庁 警察白書
- 4) 交通事故発生状況の推移（平成元～平成 22 年），平成 23 年 犯罪被害白書，内閣府
- 5) アメリカ最新 PL 訴訟統計（2013 年版），No.217(2014)，損保ジャパン日本興和リスクマネジメント社
- 6) 倫理委員会の取組み，人工知能学会誌，30(3)，358-364 松尾 豊，et. al.
- 7) 「人工知能と未来」プロジェクトから見る現在の課題，第 29 回人工知能学会全国大会（2015）江間有沙
- 8) 人工知能が浸透する社会を考える ワークショップ第一弾報告，AIR NEWS LETTER vol.1(1) 江間有沙
- 9) 国土交通省中部地方整備局 パーソントリップ調査データ
- 10) 国土交通省道路局，「三大都市の旅行速度の推移」<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/data/107.pdf>
- 11) 交通事故総合分析センター，「交通事故統計年報 平成 25 年版」，2014

著者



高橋 輝

たかはし あきら

株式会社デンソー 基礎研究所 先端研究部 社会科学研究室
モビリティとそのユーザー群に関わる社会動向の調査，自社事業への影響分析，
および将来商品企画に関わる背景トレンド・プロセス要件の研究に従事
博士（工学）



鎌田 忠

かまだ ただし

株式会社デンソー 技術企画部
社会科学研究室を設立し完全自動運転社会の課題を研究，
未来創生活動・長期技術企画に従事