

自動運転の夜明け

Dawn of Automated Driving



二宮芳樹*

Prof. Yoshiki NINOMIYA

Automated driving is a technology that is expected to bring great change and benefits to automobiles and road traffic. It is a time of life suffering for realizing what was a dream technology in ten years ago. That is also the introduction of a new mobility society, which requires not only technology but also development and remodeling on social systems. In this commentary, it is necessary for people to make efforts and changes in order to benefit from social technology. In addition, I will give personal views on issues from the viewpoint of the people and society receiving automated driving, and issues on technical approaches and strategies for development.

Key Words: automated driving, realizing, social system, technical approach, strategy for development

1. はじめに

自動車すなわち automobile は、“auto” はギリシャ語由来のフランス語で自らという意味があり、“mobile” はラテン語で動くものを意味しており、「自ら動くもの」となる。自動運転は真の自動車の誕生と考えられる。自動車の発明当時は「動物の力なしで自ら動くもの」であったが、その誕生から 100 年経ち、夢が現実となりつつある。自動車はモビリティの中核的な存在となり、社会便益は極めて大きい。交通事故、交通渋滞、排出ガスという深刻な負の側面もある。高齢化に絡み、ドライバ不足や中山間地域での移動困難の課題も顕在化している。自動運転はこれらの諸問題の解決のキー技術として期待が高い。

自動運転の最初のコンセプトの提案は、1939 年の Bel Geddes による World's Fair での自動運転ハイウェイのジオラマ展示と言われている。この背景は「運転からの人の解放」であり、単純労働からの解放は、時間の有効活用、豊かな人生へとつながる。このように自動運転は自動車に大きな変化や課題解決をもたらす期待から、世界中で導入に向けての技術的、社会的な取り組みが活発化している。しかし、自動車は人の優れた認知・判断力に大きく依存しているモビリティであり、交通社

会やインフラもまた人の運転を前提として構築されており、その社会実装には多くの課題がある。本解説では自動運転の社会実装の課題を概観する。

2. 人と AI の協調の課題

2.1 人と AI の新たな関係

人の認知・判断・操作を車側の情報システム (AI) が行うのが自動運転であるが、まだまだ人との違いや機能差がある。また、社会制度上の問題もあり、完全に人を置き換える形の自動運転は一朝一夕には実現できない。そこで早期の技術活用のため、様々なアイデアが提案された。その一つが人と AI が何らかの役割分担を行うことによって現実的なシステムを実現するコンセプトである。自動運転でよく耳にする自動化レベル (Levels of Driving Automation) は人と AI の役割分担を段階的に示したものである。SAE の 6 段階表現がよく用いられている (図 1)。

運転を

- 1) 基本的な運転操作
- 2) 運転状況の監視
- 3) 自動運転不能時の操作代行

の三つの機能に分けて、その担当を示すことで 6 段階に分類した。

*名古屋大学 未来社会創造機構 モビリティ領域 特任教授

自動化レベル	運転操作 (操舵・加減速)	環境・車両 の監視	自動運転 中断時の 運転操作	運行設計 領域 (場所, モード限定)
レベル0				なし
レベル1				あり
レベル2				あり
レベル3				あり
レベル4				あり
レベル5				なし

図1 自動化レベル
Levels of Driving Automation

自動車はこれまでは自分が運転するか、他人が運転して同乗するしかなかったため、人とAIの協調運転はどんなコンセプトがよいのかは自明ではない。運転をAIに任せるレベル4は、運転手付きの車やタクシーに乗るとほぼ同等で分かりやすいコンセプトである。しかし、人とAIが協調するレベル1～3は馴染みのあるものではない。現在商品化されているレベル2は、操作はAIが行い、AIが可能な監視はAIが実施し、それでも不足する監視や作動条件（Operation Design Domain：ODD）の逸脱を人が分担するコンセプトである。人の役割である監視タスクは、AIの完成度が上がるほど必要頻度は下がる。このコンセプト成立の鍵は介入の頻度が低い監視タスクの成立性である。テスラのレベル2走行時の事故やドライバーが陥った居眠りなどの行為はこの課題が顕在化したものであり、人の学習や訓練の必要性、さらには監視タスクを保証するドライバモニタ等のデバイスが議論されている。レベル3では、人の役割は運転交替要求への対応となるが、このタスクがどんな頻度、どんなドライバー状態、どんな交通状況で実施可能であるか、そのために訓練やドライバモニタが必要なのかを明らかにすることが課題となる。

人が操作を担当し、監視と介入をAIが担当するのが先進安全支援システム（Advanced Driver Assistance Systems：ADAS）と考えられる。危険が顕在化したときのAIによる警報や介入ブレーキは既に一般的な装置となっているが、早い介入は減速効果が大きいが必要介入となりやすいというトレードオフがある。また、潜

在危険に対する安全運転支援システムは、万一に備えて減速の忠告・介入を行うシステムとなり、リスクが実際に顕在する確率は低いため、嬉しさの訴求が難しく、実用化に至っていない。現実的なコンセプトの一つは安全運転教育システムであり、現場あるいは事後にコーチングを行うコンセプトなどがある¹⁾。シェアードコントロールという人主体で、AIが補正的な制御を加えていくシステムも提案されている。また、人馬一体というようなAIが低レベルの追従・回避機能を受け持ち、人が馬への指示のように上位の指令や監視を行うコンセプトも考えられる。これはレベル2の別コンセプトとも考えられるが、乗馬に訓練が必要なように、人馬型のレベル2にも訓練が必要と思われる。

ここまではオーナーカーを中心に人とAIの協調を考えたが、サービスカーの場合は同乗オペレータや遠隔オペレータとAIとの協調コンセプトとなる。サービスカーの場合は目的がドライバ不足対応やドライバ人件費の削減であり、一人で複数台の監視が可能、オペレータが別タスクを実施可能なレベル3以上が必要になると考えられる。

2.2 ユーザインターフェイス (UI) の課題

ドライバーとAIが密接に連携するレベル3以下では、ユーザインターフェイス (UI) が重要になる。レベル2のような人がAIを監視するものでは、人は実際の車両周辺の状況に加えて、AIが適切な認知・判断・操作をしているのかを監視しなければならない。自動車専用道

路のような比較的単純な状況であれば、簡単なアイコン表示なども実用化されているが、一般道では複雑な状況が想定される。監視の必要性が高ければ監視の負荷が課題になり、頻度が低ければ継続性の課題となる。

介入用のUIはレベル2でステアを把持している場合、把持していない場合、レベル3の場合、さらにオペレータがドライバ席に着座していない場合、遠隔オペレータの場合などで別のデザインが必要と推察される。介入までの遅れ時間や、制御性などがパラメータとなる。非着座や遠隔の場合に現状のステアやペダルが最適であるとは限らない。

2.3 操作・制御の課題

AIによる車両の制御は、ACC、LKAS、駐車支援などのADASで既に実用化されているが、人の制御への感度も期待も高いため、上手い人の運転に比べるとふらつきや加減速等で物足りなさを感じることがあり、まだ解決すべき残存課題がある。

人が様々な特性の車両を運転しながら、その特性にあった操作法を会得していくように、AIが学習ベースで様々な特性の車両に対して人レベルの円滑な運転法を獲得していく技術は今後の自動運転に欠くことができない。また、人間とAIで運転しやすい特性が異なるため、AIが運転しやすい特性を考慮する必要もでてくる。AIの運転から人の運転に切り替わると、そこには差があり、人の運転に活性感を感じることがある。この違いを探り、AIの操作・制御のレベルを上げていくことも必要になる。

3. 社会導入の便益と課題

3.1 自動運転に期待される便益

自動運転 (Autonomous) を中心に、つながる (Connected)、シェアリング (Sharing)、電動化 (Electric) という、いわゆるCASEにより、車、交通、社会が大きく変わろうとしている。CASEによる社会へのインパクトについては多くの議論や分析がなされている。従来の自動車の持つ負の側面の解決、新たな社会課題への対応、そして車の在り方や価値の変革がある。

自動車の持つ負の側面である交通事故、渋滞の経済損失は、日本だけでそれぞれ6兆円、12兆円と推定されている。自動運転によるこれらの解決は2ステップで進む。第1ステップは、人のミスの排除である。交通事故

の原因の9割は人のミスであり、渋滞の原因の一つは人間の運転ムラと言われている。このミスやムラを自動運転で取り除くことが期待できる。第2ステップはいわゆるコネクティッドと呼ばれるV2Xやダイナミックマップといった通信技術が導入され、死角がなく、全ての車両が協調する交通となるとさらなる課題解決が期待される。

日本は高齢化先進国であり、ドライバ不足、高齢者、中山間地域での移動困難といった問題が顕在化してきた。これらの解決に自動運転による運転代行が期待されている。運転代行は全ての移動困難者に移動の自由を与えるものであり、高齢者へのモビリティサービスは喫緊の課題である。

シェアリングエコノミやスマートシティ等の観点から車の在り方や価値の変革という将来像も議論されている。オンデマンド化によって使い勝手が向上したライドシェアやカーシェアがさらに自動運転化されると、これまでの所有から、利用へと車の使い方が移行していく。交通効率の向上と駐車場の削減により、都市のスマート化・効率化による新たな賑わいが生まれる。また、年間走行距離が12,000km以下のユーザは、ライドシェア、カーシェア利用の方が安価との分析²⁾もあり、経済的にもこの動きは加速される。

完全自動運転の時代には自動車の価値は従来のファンツードライブではなく、移動時間中に享受できるサービスの価値に移行すると言われる。このサービスは大きな市場 (パッセンジャーズエコノミ) を生むことが期待されている³⁾。車は移動可能な箱空間と捉えられ、移動中の仕事、アミューズメントに加え、様々なサービスの可能性が提案されている。

3.2 社会導入のための安全性の課題

自動運転の大きな目標は交通事故の削減であり、事故の原因の9割がヒューマンエラーということから、人を排除できる自動運転への事故削減の期待は大きい。自動運転車の事故率は最低でも人以下であることが要求される。日本では国土交通省の安全ガイドラインが

- ・人よりも高度な運転でヒューマンエラー起因事故が削減される

- ・合理的に予見される防止可能な事故が生じないと表現されている。また、自動車会社の一部の幹部からは「自動運転の目標は人より5~10倍安全」という非公式なコメントも出されている。人の事故率は平均的に

は100万kmに死傷者事故1回であり、確率的には非常に小さい事象である。事故を起こす特性は人毎でかなりばらつきがあり、事故を起こしやすいグループと、安全運転のグループに分かれると言われる⁴⁾。平均的な人より5～10倍とは安全なグループの中でもより慎重な熟練ドライバのイメージと推定される。

交通事故を原因別に

A) 人が起こすがAIが起こさない事故、
B) 人もAIも起こす事故、
C) 人は起こさないがAIが起こす事故
に分類する。A) は人特有の脇見、漫然、居眠り、操作不適、違反(暴走、飲酒…)、運転不能(発作、意識低下…)などに起因するものと考えられる。B) は第二当事者事故(主に相手の過失で生じる追突などの事故)に加えて、予測・意思疎通ミスによる事故がある。これは将来のリスクに対する予見可能性に関するものであり、「ヒューマンエラー起因事故」に含まれている事故となる。C) はAI特有の故障、劣化やバグ、さらに仕様抜けや未達による事故となる。自動運転への安全要求を満たすには、C) が十分に小さいことに加えて、「合理的に予見可能な事故を起こさない」、すなわち、B) が慎重なベテランドライバのレベルになる必要がある。合理的に予見可能という部分は、人の刑事責任の場合の類推から、社会的便益とのバランスを考慮した社会常識として判断される。例えば中央分離帯のある道路で中央の生け垣から歩行者が飛び出すことは予見可能であるが社会便益の点で合理的とは言えず、路側に子供を発見した時に飛び出しを予見して減速するのは合理的という話になる。AIに対しては人と同じルールでよいのかも含めて社会的なコンセンサスが必要な問題である。

その要求をどのように仕様にし、システムとして実現するか、その技術をどのように検証するかはまさに社会及び技術が統合された課題と考えられる。開発のための仕様で表現できるのであれば、それは新たな交通ルールを作ることとも考えられる。

3.3 ルール・インフラの課題

自動車の交通環境はヒューマンドライバ用に設計されている。それは鉄道の世界や自動運転に期待される高信頼度な枠組みとは異なるものである。例えば、競合する車両間の優先度は交通ルールで決まっているが、実際にはフレキシブルに運用され、ドライバ間のネゴシエーションによる判断の場合もある。これらは曖昧であり、ネ

ゴシエーションも明確なプロトコルで間違いなく行えるものではない。

交差点での交通制御も交通信号機も、人でも逆光や順光等の照明条件で視認しにくい状況があり、AIも同様に100%の認識率の確保は困難であり、二重系を構築するのも難しい。

また、交通ルールの面では、日本での自動運転導入の阻害要因として頻りに議論される規制車速と実勢車速のズレがある。自動運転車は違法走行しかできないとすると交通流を阻害するという話である。

こういった高信頼な機械システムとは馴染まないルールやインフラに対して、そのフレキシブルで曖昧な世界に機械をあくまで適合させるのか、これを機会にルールの見直しや新規インフラ導入するのも社会的に大きな課題であり選択肢である。自動運転の導入が進み、人の運転がレアケースになれば、道路も自動運転専用部分や自動運転用の信号などが作られ、安全性も効率も高い交通社会になると予測されるが、それはまさにルールやインフラの見直しを含むアプローチにほかならない。

4. 運転AI実現の課題

4.1 技術アプローチの課題

本章では、前章で述べた慎重なベテランドライバレベルのレベル4の自動運転を構築するための課題を述べる。レベル4としたのは、1章で議論した人との協調の課題が少ない点と3章で示した運転代行のような社会への貢献の大きさからである。

現在まで続く自動運転ブームを起こしたのは2007年のDARPA Urban Challengeとそれに引き続くGoogle Carの公道実証であり、一般道適用可能なレベル4自動運転が夢から現実化した。達成の技術的ポイントはデジタルインフラ(高精度地図)と3D-LiDARであり、ロボット的なアプローチの成果である。その後、登場した機械学習によりさらにこの技術は加速されることになった。

システム実現のアプローチの最近のトレンドは人の運転を直接学習獲得するものである。運転を認知・判断・操作に分け、認知の部分の人から学ぶのは認識の世界を大きく進展させたディープラーニングの取り組みにほかならない。認識は脳の多くの部分を使った高度で未解明な無意識の処理である。また人の認識はほぼ正しいので、それを学習させれば正しい認識装置ができることに

なる。

判断の部分はどうか。従来はこの部分は人の運転を解析、内省により、理解可能なパラメータで表現したドライバモデルやルールベースという手法が使われていた。ここをディープラーニングでブラックボックスモデルとして学習させるアプローチもでてきた。また、認知・判断・操作を End to End Learning で一体として学習させる方法も試行されている。

判断部分を人の運転から直接学習する方法には多くの課題がある。一つは学習対象となったある人の運転が安全の要求基準などを満たしているのかという点である。もう一つはブラックボックスモデルの問題である。高齢者は判断や制御の遅れ時間が大きいので、ゆっくり運転することによってリスクを下げている。同様に、ある人の運転で学習した AI は実際の認知や制御能力に合わせて行動を調整しなければならないが、ブラックボックスモデルはそれらのパラメータの調整が困難である。従来のモデルならば、交通ルールも明示的にモデルに表現されるが、ブラックボックスモデルではルールや運転文化の異なる地域ごとに最初から学習し直す必要があり、また自動運転に期待されている遵法も保証し難い。

システム実現と同時に必要になってくるのはシステム評価・検証である。自動運転では人よりも高い安全性を検証するために長距離走行テストが行われ、その実績値の比較がなされている。この数値は非常に説得力があるが、走行条件、介入条件に依存することや、アプローチ自体がセンサの変更やアルゴリズムの修正時点でリセットされることを考えると非常に効率が悪く、理論的な検証も難しい。現実的な評価検証のプロセスのために、交通状況を網羅的に整理した評価検証シーン集を用いるアプローチが最近のトレンドである。判断の部分の評価であれば、評価検証シーンを定め、現実的運用をしながら不足分を加えていくことで精度を上げることができる。また、適切な行動の原理式を網羅的に記述することにより、ある種の検証を行う方法も提案されている。MobilEye の Shashua らが提案している RSS-model (Responsibility-Sensitive-Safety)⁵⁾ は数学モデルとして提案されている例である。

4.2 開発戦略の課題

自動運転 AI の開発は、共通基盤となるべきデジタルインフラや評価検証法については協調領域となっているが、自動運転 AI の認知・判断の情報処理部分は競争

領域となり、それぞれの自動車会社、サプライヤ、IT 会社で別途研究開発が行われている。自動運転 AI は大規模なシステムで、環境条件や交通条件も複雑で大きな開発リソースが必要になるため、世界中で開発者不足が生じている。同じような機能開発を各社で並行して行っているのが無駄が多い。

そこで最近では、自前開発ではなく M&A や連携開発のアプローチがよく行われるようになった。さらに進んだものとして、OSS (Open-Source Software) 化がある。OSS 化が成功すると、運転 AI 自体は協調領域となり、競争は各社の特色を出せるサービス、味付け、実装等に集中できる。運転 AI は元来知能レベルに差別化は不要で、振る舞いも同じ方が構築しやすいので、協調領域が合っているとも考えられる。

名古屋大学で OSS として開発された一般道レベル 4 自動運転を可能にする Autoware はその代表例であり、OSS の特性を生かして世界中に広く普及し、OSS の運転 AI のデファクトスタンダードになりつつある。Autoware は Linux と ROS 環境で動作する研究用の OSS である。最近では Autoware Foundation という国際的な業界団体も作られ、車載品質の Autoware を作る活動も開始されている。

5. まとめ

自動車が生まれて 120 年が経ち、自動運転を中心とする CASE により、自動車や交通や産業が大きく変わろうとしている。自動運転の恩恵を享受し、従来自動車の事故や渋滞といった課題を解決するには、これまで人の運転を前提に作られた交通や社会の仕組みやルールを見直すことも考えねばならない。自動運転で運用されるバスやタクシーは新しい交通システムであるとも考えられる。また、車が知能を持ち、人との協調型システムを構築するという事は、新たな人工の馬の誕生と考えられる。人は人馬一体となるには乗馬同様に乗り方の習得や新たな関係性の構築が必要である。

参考文献

- 1) 二宮芳樹, 竹内栄二郎, 山口拓真, 新村文郷, 吉原佑器, 赤木康宏, 川西康友, 出口大輔, 早川聡一郎, 鈴木達也, 村瀬 洋, 松林翔太, 三輪和久: 先読み運転を可能にするスーパーバイザ型運転支援の提案と実車実装, 自動車技術会 2016 年秋季大会(2016).
- 2) デロイトトーマツコンサルティング: モビリティ革命 2030 自動車産業の破壊と創造, 日経 BP 社(2016).
- 3) STRATEGY ANALYTICS: "Accelerating the Future: The Economic Impact of the Emerging Passenger Economy", [<https://newsroom.intel.com/newsroom/wp-content/uploads/sites/11/2017/05/passenger-economy.pdf>](2017).
- 4) 交通事故総合分析センター: 事故と違反を繰り返すドライバー, イタルダインフォメーション, No. 73(2008).
- 5) S. Shalev-Shwartz, S. Shammah, A. Shashua: "On a Formal Model of Safe and Scalable Self-driving Cars", [<https://arxiv.org/abs/1708.06374>](2017).