

ドライバー特性に基づいた自動車の情報化・運転支援

慶應義塾大学 理工学部 管理工学科

教授 大門 樹

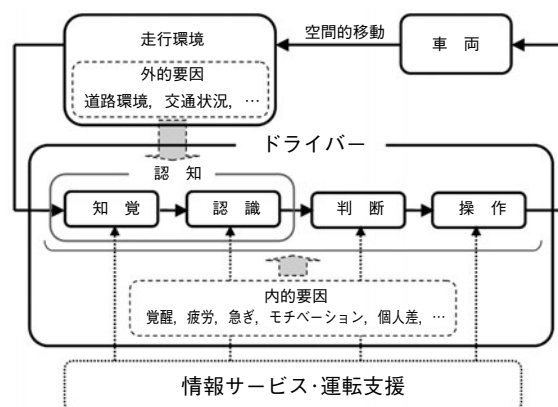


1 はじめに

19世紀末に自動車が生れて以来、100年余りが経過している。その間、自動車の改良や道路交通インフラの整備などが図られ、自動車交通による移動の利便性が向上した結果、自動車はわれわれの社会生活における人や物の移動を支える上でなくてはならない存在となっている。その一方で、自動車保有台数の飛躍的な増加は、交通事故や渋滞、環境負荷の増大など“20世紀の負の遺産”と称される社会問題をもたらす結果となった。これらの問題を解決するためにさまざまな試みがなされてきたが、わが国では最先端のエレクトロニクス技術や情報通信技術などを活用して自動車や道路交通の情報化・知能化を図り、人と道路と自動車を有機的に結合させてこれらの問題を解決するITS（高度道路交通システム）の開発と実用化が積極的に推進されている。このような技術開発と社会展開により、安全性や快適性、輸送効率の向上、環境の改善などが期待されるが、その一方で人間であるドライバーには運転行動にかかわる認知・判断・操作の能力に制約が存在することから、そのようなドライバー特性を考慮した上での自動車・道路交通の情報化や知能化が必要不可欠である。本稿では、運転行動に伴うドライバー特性を概観するとともに、自動車を取り巻く情報化や運転支援システムの動向を踏まえ、ドライバー特性に基づいた自動車の情報化・運転支援とその課題について述べていく。

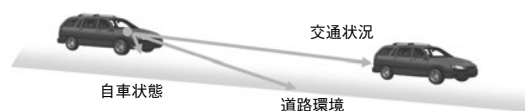
2 ドライバーの運転行動モデルと視覚認知特性

ドライバー特性と自動車の情報化・運転支援のかかわりについて言及する前に、自動車におけるドライバーの基本的な運転行動について考える。自動車におけるドライバーの運転行動は、第1図に示されるように、走行環境、ドライバー、車両の要素から構成されるモデルとしてとらえることができ、ドライバーは知覚・認識・判断・操作を繰り返しながら走行環境の変化に対応した運転行

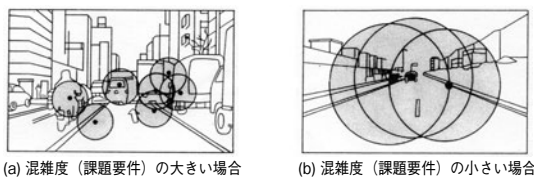


第1図 走行環境・ドライバー・車両に基づく運転行動モデル

動を行っている（本稿では、“知覚”と“認識”を“認知”として取り扱うこととする）。詳細には、ドライバーは走行環境に存在する多種多様な対象や情報を認知しながら、運転行動の目標や取るべき操作の内容を判断し、ステアリングホイールやアクセルペダル・ブレーキペダルの操作を行っている。さらにドライバーが認知する必要のある走行環境の要素については、第2図に示されるように、道路線形や路面状態などの道路環境、他車両・歩行者の状況などの交通状況、速度や加減速あるいは計器類を通じた情報などの自車状態があり、ドライバーが認知する対象はその時々によって切り替わっている。このようにドライバーの運転行動の詳細をみると、ドライバーは実に多くの対象や情報に対して認知しながら、運転操作にかかわるさまざまな処理を行っていることに気づくが、ドライバーの運転行動の安全性を維持するには、認知・判断・操作の各要素およびそれらの連携が適切に行える必要があり、これらに影響を与えるドライバーの



第2図 自動車運転時の情報の所在



第3図 注視点分布、有効視野の広さと認知範囲の関係[1]

内的要因や外的要因についても考慮しておく必要がある。

ドライバーの運転行動の安全性にかかわる視覚認知として、ドライバーの注意の及ぶ視野である有効視野（ある対象を視認しつつ同時に認知可能な範囲）の特性を理解することは重要である。三浦[1]の研究によると、交通状況における混雑度が大きい場合には有効視野は狭く、逆に混雑度が小さい場合には有効視野は広くなり（第3図）、混雑度や視覚的課題要件の大小によって有効視野の広さが影響されることが示されている。このほか、有効視野が広いと必要とされる情報を効率よく素早く認知できる一方で、有効視野が狭いと対象の発見の遅れや見落としが生じる可能性があること[2]や、有効視野が直線区間やカーブ区間などの道路線形によって影響され、カーブ区間では直線区間よりも有効視野が狭くなること[3]など、ドライバーの視覚認知は交通状況や道路環境などの要素によって特徴づけられる。

ドライバーの利便性や安全性の向上を目的として自動車の情報化・運転支援を行うには、ドライバーの運転行動にかかわる内的要因や外的要因の存在、それらによる運転行動への影響を考慮するとともに、認知・判断・操作にかかわる能力制約と運転中における認知対象の切り替わりの中で、どの要素に対してどのように働きかけるのが重要となる。

3 自動車の情報化とドライバー特性

3.1 自動車における情報提供技術の進展

自動車および道路交通の情報化・知能化は、国が主導するプロジェクトとして70年代に始まり、双方向個別デジタル路車間通信より動的経路誘導を実現する“自動車総合管制システム（CACCS）”[4]はその先駆けとなった。交差点にはコイルが埋設され、誘導無線により交差点を通過する自動車に対して渋滞回避のための進路を車載装置に提示するという動的経路誘導システムであった。このような路車間通信システムの技術は、その後の路車間情報システム（RACS）や新自動車道路情報通信システム（AMTICS）などの研究開発を経て、現在、道路情報や駐車場情報などの動的情報を提供可能とする道路

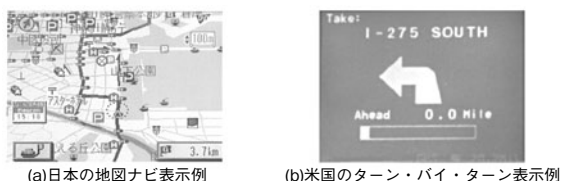
交通情報通信システム（VICS）がカーナビゲーションシステムに搭載されているに至っている[5][6]。

一方、カーナビゲーションの自動車への導入は80年代に始まり、開発当初は主に車載ディスプレイ上の地図に自車位置や目的地までの経路をハイライト表示する機能にとどまっていたが、その後、GPS(Global Positioning System)や各種センサ類による自車位置検出精度の向上や音声案内機能の付加、コンビニエンスストアやガソリンスタンドなどのランドマーク表示や周辺施設の検索機能、VICSによる動的情報の提供機能などの装備が図られ、カーナビゲーションは道路交通にかかわる多種多様な情報を提供できる、自動車の情報化を担う標準的なシステムとして定着した。

3.2 カーナビゲーションの情報形態とドライバー特性

まずは初期のカーナビゲーションを取り上げ、カーナビゲーションの情報形態に対するドライバー特性について述べる。初期のカーナビゲーションの機能は主に車載ディスプレイ上の地図に自車位置や目的地までの経路をハイライト表示するもので、現在のような交差点拡大図表示や音声案内機能は装備されていなかった。このような情報提供の下で目的地に到達するには、基本的に曲がるべき交差点を誤りなく特定して曲がる必要があるであったが、曲がるべき交差点への到達タイミングを計るには、音声のような受動的な到達タイミングが提供されなかったことから、ドライバーは車載ディスプレイを比較的高い頻度で視認するという方略を取るようになった。このような特徴を有する初期のカーナビゲーションではあったが、同じ目的地に対して紙媒体の道路地図を利用した場合と比較して、現在位置にかかわる情報提供が運転中のドライバーの負担を低減するものであった[7]。

その後、カーナビゲーションの経路誘導の機能に関して、日本のカーナビゲーションは地図を表示し、またランドマークや交差点名称など多くの情報を提供するもの（以後、地図表示）であったが、欧米のものは交差点での進行方向の決定に必要な最小限の情報を矢印で提供するもの（以後、ターン・バイ・ターン表示）であった（第4図）。このような視覚情報に音声案内が追加・連動されると、日本の道路環境では、ターン・バイ・ターン表示よりも地図表示の方が経路誘導を行う際のドライバーの運転負担を低減するだけでなく、走行中の安心感や進路決定のしやすさも向上することが確認され、地図表示と音声案内による経路誘導の効果が明らかとなった[8]。ターン・バイ・ターン表示と地図表示の情報量の違いは明らかであり、一見するとターン・バイ・ターン表示は車載



第4図 日本と米国のカーナビゲーションの情報形態（1990年代）

ディスプレイへの視認時間を減少させ、経路選択の認知処理にかかわるドライバーの負担を低減させるものと考えられるが、実際にはそのような認知処理にかかわる負担よりも“正しい経路を走行しているか”“曲がるべき交差点を通り過ぎていないか”など交差点間隔の短さや道路網の複雑さといった日本の道路環境の事情を踏まえた迷走や経路選択の誤りへの不安感が大きく、ターン・バイ・ターン表示による情報だけではそのような不安感を十分に払拭できないことを示すものであった。

カーナビゲーションの経路誘導の機能を例に、自動車から提供される情報とドライバー特性の関係について述べたが、カーナビゲーションに限らず、ドライバーに対する情報サービスを設計するには、単に情報サービスにかかわる情報量に注目するだけでなく、運転中のドライバーが何のためにどのような情報をどのように活用しているのかといった視点を踏まえたアプローチが必要である。

3.3 多様な情報サービスのためのヒューマン・マシン・インターフェース (HMI)

これまで自動車の情報化はカーナビゲーションを中心に進められ、VICSやETC（自動料金収受システム）などに関連した情報サービスもドライバーに提供されているが、近年では先進安全自動車（ASV）の運転支援にかかわるさまざまな情報がインストルメントパネル内のマルチ・インフォメーション・ディスプレイ（MID）を通じてドライバーに提供されており、今後も多種多様な情報サービスがさまざまな情報表示装置を通じてドライバーに提供されるものと考えられる。このような多様な情報提供機器が個々に自動車に搭載されて、複数の情報が同時にドライバーに提供されるとドライバーの混乱や驚愕を招き、ドライバーの運転行動が不安全なものになってしまう可能性がある。

2004年から始まったITSセカンドステージ[9]では「安心・安全」「豊かさ・環境」「快適・利便」の3つを柱として、これらに対応した多様な情報サービスが1つのITS車載器を通じてドライバーに提供される[10]。ITS車載器は多様な情報を単に1つの情報提供機器に集中させるだけでなく、複数の情報から優先度の高い情報のみを提

供し、優先度の低い情報を同時に提供しない仕組み“情報提供マネジメント”を装備したHMIも必要とされる。情報提供マネジメントに関して、情報項目に対する緊急性と重大性の各4段階のレイティングの合計値に基づいてその情報項目の優先度を決定するISO/TS16951が発行されており[11]、ITS車載器への新たな情報サービスの導入においてこの優先度決定法に基づいた設計が必要となる。

ITS車載器により複数の情報から優先度の高い情報が選択され、情報がドライバーに提供された場合であっても、その情報の優先度をドライバー自身が適切に認識できなければ、情報に対する緊急性や重大性を見誤り、不適切な運転行動に至る場合がある。ITS車載器に搭載する情報サービスとして、従来のカーナビゲーションの経路誘導情報やVICSによる道路交通情報に加えて、前方障害物衝突防止支援サービスなどの路車協調型の安全走行支援サービスを導入した場合に、視覚情報や聴覚情報などのHMI仕様が優先度に基づいて差別化がなされないと、情報提供頻度の高い経路誘導情報や道路交通情報の存在によって、安全走行支援サービスの情報に対する優先度がドライバーに対して低いものとして認識されてしまう場合がある[12]。このような優先度の高い情報を適切にドライバーに認識させるには、情報の優先度のレベルを心理的にも感じられるHMI仕様が必要であり、情報項目の緊急性・重大性とHMI仕様の基本的要素（視覚情報の色や点滅周期、音信号の周波数やDuty比など）との対応関係[13]が参考となるが、ドライバーが優先度の高い情報項目を適切に認識できるものとするには、優先度の高い情報項目に対して統一的なHMI仕様を導入することも必要となりうる。

3.4 インストルメントパネルの液晶化とスマートフォンの車内利用

近年、インストルメントパネルの全面液晶化が進められており、一部の市販車では既に全面液晶化されたインストルメントパネルが搭載されている。全面液晶化がなされれば、インストルメントパネル内での情報表示位置に関する自由度は高まり、従来の計器類に加え、カーナビゲーションなどの地図情報や運転支援システムの各種警報、赤外線カメラや死角用カメラによる映像表示などを、ドライバーの選択や運転状況に合わせて一時的にインストルメントパネル内で表示することが可能となるほか、ドライバーの視覚特性や嗜好（しこう）に合わせた表示のカスタマイズなども可能となる。車載ディスプレイ上の表示とインストルメントパネル内の表示の連携や、優先度の高い情報項目に対する表示の差別化など液

品化に伴うさまざまな可能性が考えられるが、従来のインストルメントパネル内に存在する計器類の情報と新たに導入した情報との干渉や表示位置の変更に対するドライバー受容性や心理的影響などを含め、ドライバーの運転行動における安全性の観点に立った上での検討が必要となる。

一方、スマートフォンの普及に伴って、ナビゲーションや道路交通情報に関連したアプリが開発され、自動車内でドライバーに利用されつつある。スマートフォンを利用することでインターネットを介したさまざまなサービスが自動車内でも利用可能となり、今後、自動車の情報化を含めた車内外でのシームレスな情報活用が期待される。その一方で、従来のカーナビゲーションと比較すると、情報を表示するための画面の大きさやサービス利用に伴う操作方法などHMI仕様に制約があることは否めず、ドライバーの運転行動に支障を来さないための対応が必要である。今後もスマートフォンを介したドライバー向けのさまざまなサービスが展開されていくと考えられるが、ドライバーの運転行動の安全性を維持した上でのスマートフォンの活用が必要不可欠であり、例えば、スマートフォンを自動車内に接続して車内HMIと連携させるなど、スマートフォンのHMI仕様の制約がドライバーの運転行動に影響を及ぼさない形態での開発が必要となる。

4 運転支援とドライバー特性

運転支援とは、ドライバーの運転行動における認知・判断・操作に対して何らかの働きかけを行い、“見えのないものを見えるようにする”、“わかりづらいものをわかりやすく見せる”“危険かどうかを判断する”“何をすべきかを教示する”“代わりに操作する”ということに相当する。前述のカーナビゲーションは、ドライバーの運転行動における認知や判断に対して主に働きかけるものであり、またASVや走行支援道路システム (AHS)、安全運転支援システム (DSSS) などの安全にかかわる運転支援システムは、認知・判断・操作に対して働きかけ、操作の要素に対しては補助あるいは代替するものである。警報システムを例に、運転支援とドライバーのかかわりについて考えてみると、警報システムは運転状況における危険性の存在やその対象をドライバーに認知させるための警報を提示するが、その危険性が既にドライバーに認知されたものであれば、ドライバーは警報を煩わしく感じるであろうし、また、その危険場面での警報の提示タイミングが特定のドライバーに対して適切なものであったとしても、ほかのドライバーに対しては必ず

しも適切であるとは限らない。つまり、警報の提示タイミングは、ドライバーの認知状態や個人差に依存していると考えられ、このようなドライバーの特性を無視して警報の提示タイミングを設定し、運転行動に適合しない警報を提示し続けた場合は、警報に対するドライバーの信頼が低下するなどして不適切な運転行動を誘発する可能性もある。警報システムに限らず、運転支援システムがドライバーに対して有効に働きかけるには、運転支援を行おうとする場面において個々のドライバーの運転行動がどのようなになっているのかを把握した上で運転支援に関する詳細な設定を行う必要がある。近年では、顔画像 (眼瞼付近) に基づいたドライバーの覚醒度推定[14]や運転行動データベース[15]に基づいたドライバーの行動意図推定・個別適合などをはじめとして、さまざまな手法の提案がなされており、今後もドライバーの運転行動を適切にセンシングしてその運転状態を高い精度で推定する技術の確立が必要である。

5 高齢ドライバーへの対応

日本の65歳以上の高齢者人口は、2009年に2,901万人に達し、高齢化率も22.7%と5人に1人が65歳以上の高齢者という本格的な高齢社会を迎えている[16]。高齢者の就労人口の増加や高齢者の移動の活発化に伴って高齢ドライバーの増加が見込まれるが、その一方で高齢ドライバーの関与する交通事故件数は増加の傾向を示している。高齢ドライバーの交通事故の特徴としては出会い頭事故の構成率が高く、信号無視や指定場所一時不停止など法令違反を伴うものが多い。また高齢ドライバーの車両単独事故については、路外逸脱の占める割合が高く、ステアリングホイールやブレーキの操作の不適切さや漫然運転などの前方不注意などが指摘されている。これら高齢ドライバーの交通事故の原因として、運転行動における認知・判断・操作の要素にかかわる能力の低下や、運転に必要な複数作業を同時に行う際に必要な注意資源の配分や集中力の低下の影響が指摘されている[17]。高齢ドライバーに対して安全で安心な移動を提供するには、運転行動における認知・判断・操作の要素に対して何らかの支援が必要となり、例えば、高齢者の聴覚特性を踏まえた音声情報の提示を図ることや、車載ディスプレイやインストルメントパネルへの情報表示は視認の際の焦点調整に配慮することなどHMI仕様にかかわる工夫も必要となる。また運転中の体調不良や事故などの不測の事態への対応にかかわる支援も必要となる。

6 おわりに

本稿では、ドライバーの運転行動の特性を概観した上で、カーナビゲーションを中心とした自動車の情報化の進展がもたらしたドライバーの運転行動への影響について考察を述べるとともに、多様な情報サービスを導入するためのHMIや新たな情報機器の導入に関する見解と課題について述べた。またドライバーの運転行動における認知・判断・操作と運転支援の考え方や高齢ドライバーへの対応について見解と課題についても述べたが、ドライバーの利便性や安全性を維持した上で自動車の情報化・運転支援を図るには、情報サービスにかかわる情報提供マネジメントのほか、情報サービスや運転支援を行う場面での運転行動を適切にとらえてシステムの詳細な設定を行う必要があり、自動車の情報化・運転支援のさらなる実用化にはドライバーの運転状態を高い精度で推定する技術の確立が急がれる。

参考文献

[1] 三浦利章, “外界情報の獲得・処理様式,” 数理科学, vol.30, no.12, pp.53-58, 1992.

[2] 三浦利章 他, “自動車の情報化に関わる視覚的注意特性: カーナビゲーション使用時の注意の時間的特性を中心として,” 交通科学, vol.28, no.1 no.2合併号, pp.53-59, 1998.

[3] 佐藤美恵 他, “カーブと直線区間における運転者の有効視野に関する一検討,” 映像情報メディア学会誌, vol.59, no.8, pp. 1215-1218, 2005.

[4] 松本俊哲 他, “自動車総合管制システム,” 信学誌, vol.62, no.8, pp.870-887, 1979.

[5] 宮田稜, “快適な自動車交通を目指して -VICISの挑戦-,” 自動車技術, vol.47, no.8, pp.11-17, 1993.

[6] 鈴木克夫 他, “VICIS対応ナビゲーションシステムの開発,” 自動車技術, vol.51, no.2, pp.41-46, 1997.

[7] 大門樹 他, “車載情報機器搭載時における運転者の特性に関する研究” 人間工学, vol.29, no.3, pp.157-165, 1993.

[8] 麻生勤 他, “地図ナビとTBTナビの有効性比較研究,” 自動車研究, vol.22, no.2, pp.82-85, 2000.

[9] スマートウェイ推進会議, “ITS, セカンドステージへ～スマートなモビリティ社会の実現～,” 提言, 2004.

[10] (財) 道路新産業開発機構, “ITS HANDBOOK 2007-2008,” pp.46-51, 2007.

[11] International Organization for Standardization (ISO), Road vehicles -Ergonomic aspects of transport information and control systems -Procedures for determining priority of on-board messages presented to drivers, ISO/TS16951.

[12] 河井真知子 他, “車載情報提供サービスにおける喚起音の階層化がドライバ行動に与える効果に関する研究,” 自動車技術会論文集, vol.40, no.3, pp.905-911, 2009.

[13] (財) 日本自動車研究所, “基準創成研究開発事業 人と機械のインターフェース構築のための情報提供技術に関する標準化報告書,” pp.17-143, 2001.

[14] 大須賀美恵子 他, “ドライバの覚醒状態推定,” 自動車技術, vol.62, no.12, pp.46-52, 2008.

[15] 赤松幹之, “運転行動データベースの構築とアクティブセーフティ技術への利用,” 自動車技術, vol.57, no.12, pp.34-39, 2003.

[16] 内閣府, “平成22年版 高齢社会白書,” 2010.

[17] 上地幸一 他, “高齢ドライバーに対する安全への取り組み,” 国際交通安全学会誌, vol.35, no.3, pp.77-83, 2010.

《プロフィール》

大門 樹 (だいもん たつる)	
1989	慶應義塾大学 工学部 卒業
1991	慶應義塾大学 大学院理工学研究科 修士課程修了
1995	慶應義塾大学 大学院理工学研究科 後期博士課程修了 博士 (工学)
1995	通商産業省 工業技術院生命工学工業技術研究所 COE特別研究員
1996	フランス国立交通安全研究所 外国人研究員
1997	慶應義塾大学 工学部 特別研究講師
2003	慶應義塾大学 工学部管理工学科 助教授
2007	慶應義塾大学 工学部管理工学科 准教授
2011-現在	慶應義塾大学 工学部管理工学科 教授
2002-2004	独立行政法人産業技術総合研究所関西センター ライフエレクトロニクス研究ラボ客員研究員

専門技術分野:

人間工学, システム工学, 高度道路交通システム

主な編書:

情報処理ハンドブック (オーム社, 1995)
人間計測ハンドブック (朝倉書店, 2003)