2506 運転支援装置使用時における運転行動と状況認識レベルとの関係

Relation between driver behavior and situation awareness while driving with driving support system

○ 菊地 一範 (自動車研) 正 鈴木 桂輔 (大同工大)
Matthieu Worm (自動車研) 正 片山 硬 (自動車研)

Kazunori KIKUCHI, Japan Automobile Research Institute, 2530 Karima, Tsukuba-shi, Ibaraki
Keisuke SUZUKI, Daido Institute of Technology, 10-3 Takiharu-cho, Minami-ku, Nagoya-shi, Aichi
Matthieu WORM, Japan Automobile Research Institute
Tsuyoshi KATAYAMA, Japan Automobile Research Institute

This study developed a method of evaluating drivers' awareness using Situation Awareness (SA) when driving a vehicle equipped with a low-speed adaptive cruise control system (low-speed ACC). Some experiments using JARI-Driving Simulator were conducted to find out the relationship between SA and drivers' behavior, and to develop indexes which indicate drivers' SA level. The simulator tests showed that a) the use of the system gave a significant effect on the SA for recognizing the movement of other vehicles, whereas b) the participants who are not familiar with the system yielded lower SA level for identifying the current status of the activating system.

Key Words : Situation Awareness, Driving Support System, Driver Behavior, Intelligent Transport Systems

1. はじめに

ドライバの運転負荷軽減, さらには交通事故低減効果を目的とした ITS が着実に実用化されてきている。これらのシステムがより快適でより安全な交通環境をドライバに与えることは明らかであるが^[1], その一方でこれらの全く新しいシステムが導入されることによる, 新たな問題点も明らかになりつつある。IT 機器の導入による情報の提示やドライバによる運転の一部を代替する機能等により, ドライバはこれまでのような全くのマニュアル操作による運転とは大きく異なる運転の形態をとることになる。このような形態の運転には提示された情報が何を意味するのか, またシステムの状態がどのようなになっているのかを常に把握しながら運転をする必要がある。こういった IT 機器とドライバとのコミュニケーションの欠如がもたらす危険が新たな問題点の1つとしてあげられる。

航空機や大型プラントでは, システムの自動化や詳細な情報の提示により, 大幅に安全性が向上していると考えられている。その反面, 自動車の ITS においても懸念されている, 複雑になった自動操縦装置や情報の氾濫に起因する事故も多くなっている^[2]。これらの事故原因であるとされているのが, 操縦者が周囲の状況やシステムの状態を十分に把握できなかったこと (状況認識の喪失) である^{[3][4]}。この状況認識の喪失がどのようなメカニズムによって発生したのかを体系付け, さらには事故原因の対策をすすめるための手段として, 航空機分野で進展しているのが Situation Awareness (以下「SA」と記す) の研究である。ここで利用されている SA の概念とは, 周囲で何が起きているのかを知ることであり, 自動車の運転操作に用いられる, 「認知」, 「判断」, 「操作」という3要素のうちの「認知」の部分より詳細に検討するための概念である。

本稿においては, ドライバの運転負荷軽減を目的として実用化の検討が行われている低速度域車間距離制御装置 (以下, 「低速 ACC」と記す) を例として, ドライバの SA を評価する方法を検討する。さらには, システムの有無やドライバのシステムに対する理解度が異なる場合における SA 形成の差異の評価を研究目的としている。

2. SA の評価方法

2.1 SA の概念とその活用

前述の通り, SA は「認知」について詳細に検討をするための概念であり, この「認知」の過程を以下の三段階のレベルに分割できると考えられている^{[5]~[7]}。

- ・ レベル1: 環境要素の知覚 (perception)

SA 獲得の第一段階であり, 環境の状態, 特性, 時間的変化を知覚すること。

- ・ レベル2: 現状の理解 (comprehension)

レベル1で得られた環境要素の特性を組み合わせることで周囲の環境の全体像を把握し, 発生している事象の意味を理解すること。

- ・ レベル3: 将来状態の予測 (projection)

レベル2までに得られたことを基に, 環境の将来を予測すること。

このようなレベル1~レベル3といった段階を経て操縦者は周囲環境の認知を行うが, それらがどの環境要素からの情報によるものなのかを規定すると SA を系統立てて整理するためには都合がよい。そのため有用なモデルとして, Hawkins によって提唱されたシェルモデル^[8], あるいは稲垣により提唱された C-シェルモデル^[9]がある。著者らは, これらのモデルの概念を自動車にあてはめ, ドライバと環境要素とのインターフェースを模式化したモデルとして, 図1に示す修正シェルモデルを提案している^[10]。交通環境 (Traffic Environment), 自車両の状態 (Vehicle), 同乗者 (Passenger), ITS 機器 (ITS Instruments) の4つ環境要素がドライバの周囲を取りまく。この修正シェルモデルを使用することで, ドライバとどの環境要素との SA を議論しているのかを明確にしながら検討を行うことができる。

これら三段階の SA レベルと修正シェルモデルという考えを用いることで, ヒューマンエラーが発生した場合の原因を詳細に検討することが可能になる。ドライバとどの環境要素との SA が問題となり, またどのレベルの SA が原因でエラー (状況認識の悪化) を起こしたのかを系統立てて整理することが可能となる。それにより, システムの対策の検討も容易になる。

Fig.1 Interface model for the analysis of Situation Awareness in driving

2.2 SAの低下

システムの動作要件やドライバの状態、情報の提示方法などが異なれば、それを要因としてドライバのSA形成のなされ方に違いが生じる。それらの違いによりSA形成に悪影響が及ぼされることをSAの低下と呼ぶこととし、このSA低下の定義として以下の2つが考えられる。

- ・ 何らかの事態が発生した時に、適切な対処方法にたどり着くことができなくなる事。
- ・ 同じ状況下において、同一のタイミングで形成されているSAのレベルがより低次になる事。

これまでの自動車へのSA評価の適応例では、前者のように最終的にSAが保たれているのかを評価するものが多い。SAの形成に影響を与えている要因をより明確にするためには、その形成過程を時系列で考察する必要があると考えられる。そのため、本稿においては特に後者に主眼を置いた測定方法の検討を行う。

2.3 SAの評価手法

主に航空機の分野で進展してきたSAの研究では、SA評価の方法は以下の4つに分類されている。

- ・ 直接法 (Questionnaires)
与えられた周囲環境についての具体的な質問を作業者本人に直接行い、回答内容と事実との整合度合いからSA形成の程度を判定する方法。質問を行うタイミングによりいくつか方法があるが、作業を途中で中断して質問を行う方法 (Freeze Techniques) が最も信頼性が高い測定法であると考えられている。
先に述べたように本稿においては、SAの形成過程を時系列で検討することに主眼をおくため、作業終了後にドライバ自身が運転を行ったビデオ画像を再生しながら、ドライバの思考状況を確認する方法を採用した。
- ・ 間接法 (Performance Measures)
作業成績や作業者の行動を測定してSA形成の程度を推測する方法。全体を通しての作業成績から総合的なSA形成の程度を推測する Global measure、実験シナリオ中に異常箇所を設定して、その反応行動からSAを求める External Task Measure などがある。
- ・ 主観評価 (Subjective Techniques)
作業者本人が作業者自身のSA形成の程度を評価する (Self-Rating)、もしくは観測者が作業者のSA形成の程度を評価する (Observer-Rating) 方法がある。

・ 生理指標 (Physiological Techniques)

作業者の生理的指標を測定し、その変化から認知したかどうかを推定する方法。代表的な指標として、脳波、心拍数、注視点計測、および瞬目等が挙げられる。

3. 自動車運転中のSA評価の具体例

3.1 実験方法

(財) 日本自動車研究所の動揺装置付きドライビングシミュレータ上に低速ACCを搭載した車両を模擬し、片側2車線の高速道路上で低速ACCを使用して先行車両群に追従走行する場面を設定した。なお本稿における低速ACCは、先行車両の発進に伴い、自車両も自動で追従発進する完全自動型の低速ACCである。また、システムの発生できる最大の減速度は 2.5m/s^2 とした。

(1) 発生イベント 先行車両群に追従走行中における被験者のアイポイントからの前方画像を図2に示す。自車両と同一車線を走行する車両2台 (車両A、車両B) と、右側車線を走行する車両2台 (車両C、車両D) がある。これらの車両群を、渋滞を模擬した加減速、および停止を繰り返すような走行をさせ、イベントが発生しない通常走行時はこの隊列を維持して走行する。また、路側には運転には直接関係のない広告看板を配置している。

本稿においてSAを評価するために用いたイベントの概略を図3に示す。車両Cがウインカを点灯後に車両Aと車両Bの間に進入を開始するが、その途中に車両Aが減速 (3.5m/s^2) し、それに伴い車両Cが強い減速 (4.0m/s^2) を行い、さらには車両Bが急減速 (5.5m/s^2) を行う。

また、ドライバの車両割り込みに対する単純反応を防ぐために、SAを評価するためのイベント以前にも、車両Dの自車両直前への進入、車両Cが車両Aと車両Bの間に車線変更を行った後、再度右車線へ復帰するといったダミーのイベントを設定した。

Fig.2 Scene of front driving view

Fig.3 The event for evaluating Situation Awareness

(2) 調査項目 前述の SA 評価イベントにおける、一般的なドライバの認知・判断・操作および SA 形成過程のイメージを図 4 に示す。認知はドライバの思考の部分であり、この中に SA とその結果から生まれる意思決定過程が含まれる。さらにこのイベントでは、修正シェルモデルのうち、交通環境と ITS 機器に対する SA が大きく関与する。また、図中の矢印は思考の流れを、フキダシはその過程に関係するドライバの行動をそれぞれ示している。このドライバの思考の流れにおいて、一部分でもその形成が失敗し、流れが滞ると事故を招く。すなわち、全ての過程が正常に行われたときのみに事故を回避することが可能となる。

このようにドライバの思考の流れを検討し、その過程におけるポイントごとに指標を設けることで、ドライバの意思決定過程に対しての ITS 機器の影響をより詳細に検討することが可能となる。以上の考えから、本稿においては以下に示す指標を設定した。

- ・ 交通環境に対する SA レベル 1~2
自動車の交通環境においては、周囲車両を見ることにより状況を理解することが容易である。そこで、「対象物を見る」という注視点反応を指標とする。(生理指標)
- ・ 交通環境に対する SA レベル 3
車両 B が減速を行うであろうと予想したタイミングを直接質問することで測定。(直接法)
- ・ システムに対する SA レベル 3
システムの減速では衝突回避できないことを「予想」すれば、ブレーキを踏む準備といった予備的な行動が存在すると考えられる。そこで、ブレーキペダル上に足を構えるタイミングを指標とする。(間接法)
- ・ 減速の意思決定
システムの減速では衝突が回避できないと判断し、減速の意思決定を行ったタイミングを直接質問する。(直接法)
- ・ ブレーキ操作
最終的な結果としてブレーキ操作を行ったタイミングを指標とする。(間接法)

(3) 被験者 日常的に自動車を運転する男性 19 名(年齢: 23~53 歳, 平均 32.9 歳), 女性 7 名(年齢: 25~41 歳, 平均 31.7 歳)の被験者を以下の 3 群に分けて実験を行った。

- ・ システムを使用しない群 (A 群)
- ・ システムが発生可能な減速度に限界があることを教示する群 (B 群)
- ・ システムが発生可能な減速度に限界があることを教示しない群 (C 群)

Fig.4 Drivers' thinking process for evaluating SA in the event

3.2 実験結果

評価を行うためのイベントにおける、計測結果を図 5 に示す。横軸はイベント開始(車両 C のウインカ点灯)からの経過時間を示している。また、各プロット点は前述の調査項目に示した 5 つの評価指標(注視点反応、車両 B 減速予測タイミング、減速予備行動、システム限界判断タイミング、制動行動)それぞれの被験者群ごとの平均値を示している。また、図 6 は各被験者群において、車両 B が減速を開始する以前に車両 B の減速を予測した被験者の割合、システムの限界を予測して減速の予備行動をとった被験者の割合、システムの限界を判断した被験者の割合、最終的に衝突を回避した被験者の割合をそれぞれ示している。

(1) 交通環境に対する SA 図 4 に示すとおり、イベント開始からドライバが対象車両を見て、車両 B の減速を予測する時点までが交通環境に対する SA を形成する期間となる。図 5 から、システムを使用する B 群および C 群は、システムを使用しない A 群と比べて、対象車両を注視するまでの反応時間が遅い。システムが前後方向の制御を担うことによって、ドライバがそれに関わる情報の取得を怠っていることが考えられる。さらに C 群は B 群よりも注視点反応が遅い。「自車両の発生可能な減速度に限界があることを知らない」ということを、「システムへの依存が大きい」と置き換えると、SA 形成の変化をシステムへの依存の測定指標として考えることができる。システムに対する SA はシステム状態の把握や理解に大きく影響を受けるが、交通環境に対する SA はシステムに対する依存以外の影響が小さいと考えられるため、システムへの依存を検討する指標として適当と考えられる。

図 5 に示す結果における、車両 B 減速予測タイミングについては、車両 B が減速を開始する以前に周囲の交通環境から車両 B の減速を予測することができた被験者のみを対象としている。被験者群ごとの車両 B 減速予測の達成率は図 6 のとおりである。車両 B の減速を予測する過程において、システムを使用しない A 群では全ての被験者が車両 B の減速開始以前に車両 B の減速を予測していたのに対し、システムを使用した B 群および C 群では予測ができない被験者が存在し、特に C 群においては達成率が 40% 以下であった(図 6)。また、システムを使用する B 群および C 群では、車両 B の減速を予測することができた被験者であっても、予測タイミングは A 群に比べて遅い(図 5)。

以上のことから、システムを使用することにより交通環境に対する SA の形成に影響があると考えられる。

(2) システムに対する SA 図 4 に示すとおり、ドライバが車両 B の減速を予測してから、システムの限界を予測する(減速の予備行動を行う)までがシステムに対する SA 形成の期間である。システムが発生できる減速度に限界があることを教示する B 群に比べて、システムの減速度に限界があることを教示しない C 群では、車両 B の減速を予測してからシステムの限界を予測できるまでの時間が長い。また図 6 からわかるように、C 群においてはシステムの限界を予測できない被験者もあった。このように、システムに対する知識が欠如していることにより、システムの状態を認識する過程に影響がおよぼされることがわかる。

(3) 意思決定・判断・操作 システムを使用しない A 群とシステムを使用する B 群はどちらの群も全ての被験者が衝突を回避している(図 6)。しかし A 群と比較して B 群は減速を開始するタイミングが遅いだけでなく、注視点反応や車両 B の減速予測といった交通環境に対する SA を形成するタイミングも遅くなる(図 5)。また、システムが

発生可能な減速度に限界があることを教示しないC群には先行車両への衝突を回避できなかった被験者が多い。これらの被験者の中にはシステムの限界を予測することができたにもかかわらず、先行車両への衝突を回避できなかった被験者もいる(図6)。衝突してしまった原因は、システムの限界を予測できても、実際に減速の意思決定ができなかったかもしくはそのタイミングが遅いために減速が間に合わなかったことにある。このようにSAの形成がなされるタイミングが遅れることで危険を回避できないことが起こることから、指標の達成率だけでなく、達成したタイミングを議論する事が重要であることがわかる。

さらに、システムを使用しないA群の制動開始タイミングよりもシステムを使用するB群やC群の被験者がシステムでは減速できないことを予想するタイミング(システムに対するSAのレベル3)が遅い(図5)。このことから、システムを使用している二群の被験者が、システムの減速では衝突が避けられないことをさらに早い時点で予想することができれば、衝突回避のタイミングや衝突回避率が改善されることが考えられる。このことから、システムの制御では衝突を回避できないことをドライバに知らせることができ、限界警報等の措置を講じ、システムに対するSAを向上させることができれば、安全に大きく寄与すると考えられる。このように、SAの形成タイミングが分かれば、より明確にシステムの改善方法を検討することが可能となる。

Fig.5 Reaction time at the events of drivers' thinking process

Fig.6 Ratio of achieving the projection/decision/avoidance

4. まとめ

本稿では、ドライバの運転負担軽減を目的として実用化の検討が行われている低速ACC(先行車の発進に伴い、ドライバのアクセル操作無しに進進する完全自動型)を例として、ドライバのSAを評価する方法を検討した。設定したイベントにおけるドライバの運転行動とSAレベルの関係を分析し、その結果から、ドライバのSAのレベルを表すと考えられる指標を測定した。さらに、システムの有無やシステムに対する理解度が異なる場合のSA形成の差異を検討した。解析の結果を要約すると以下ようになる。

- 1) 今回の調査で模擬したシステムを使用すると、システムを使用しない場合と比較して、交通環境に対するSAが低下する。
- 2) 交通環境に対するSAはシステムへの依存を測る指標の1つとして考えることができる。
- 3) 使用するシステムの知識が欠如していると、システムに対するSAが低下する。
- 4) SA形成のタイミングが遅れることで危険回避できないことが起こるため、SAを形成したタイミングを議論する事が重要である。
- 5) SAの形成タイミングが分かる事によって、より明確にシステムの改善方法を検討することが可能となる。

以上より、設定したイベントにおけるドライバの思考の流れを分析し、この思考の過程の中でSAのレベルを表す指標を設けるという本手法は、ドライバの意思決定過程におけるITS機器の影響をより詳細に検討するために有効であることを確認できた。

参考文献

- [1] 事故低減効果の検証, 先進安全自動車(ASV)推進計画(第2期)に関する報告書, 国土交通省自動車局 先進安全自動車推進検討会, (2001)
- [2] Jones D.G., et al., Investigation of Situation Awareness Errors, 8th International Symposium on A Vision Psychology, (1995)
- [3] 稲垣敏之, 高度情報技術を導入したプラント監視制御における意思決定, 安全の研究 第3章, 原子力安全システム研究所編, 株式会社 ERC 出版, (2001)
- [4] Sarter N.B., et al., How in the World Did We Ever Get into That Mode? Mode Error and Awareness in Supervisory Control, Human Factors, 37, (1995)
- [5] Endsley M.R., Decision and Evaluation for Situation Awareness Enhancement, Proceedings of the Human Factors Society, 32nd Annual Meeting, 1998
- [6] Endsley M.R., Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems, Human Factors, 37, 1995
- [7] Endsley M.R., Theoretical Underpinnings of Situation Awareness: A Critical Review, Situation Awareness Analysis and Measurement, ed. By Endsley M.R. and Garland D.J., Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 2000
- [8] Hawkins F.H., Human Factors in Flight, ed. By Orlady H.W., Ashgate Publishing Limited, (1987)
- [9] 稲垣敏之, 自動化におけるヒューマン・システム・インタラクションの諸相, ヒューマンインターフェース学会誌, 2, (2000)
- [10] 片山, 鈴木, 菊地, ドライバのシチュエーションウェアネスに関する調査, 自動車研究, 第25巻, 第2号, (2003)