能動運転時及び受動運転時における緊急時行動特性の実車計測*

呉 景 龍^{*1}, 大 武 步^{*2}, 河内山 隆紀^{*1}
松 岡 悟^{*3}, 山 本 康 典^{*3}Measurement and Evaluation of the Behavioral Characteristics in
an Emergency in the Active and Passive Driving of
an Advanced Safety VehicleJing-Long WU^{*4}, Ayumu OTAKE, Takanori KOCHIYAMA,
Satoru MATSUOKA and Yasunori YAMAMOTO^{*4} Department of Intelligent Mechanical Systems, Faculty of Engineering, Kagawa University,
2217-20 Hayashi-cho, Takamatsu-shi, Kagawa, 761-0396 Japan

Considering the emergency of pursuing the front car when a traffic signal is changing. The operation and behavior characteristics, such as response time, break pressure and stopping distance were quantitatively measured and analyzed between the passive driving of a car equipped with ACC (Adaptive Cruise Control) and the active driving of a car without ACC. According to the results, while there was a dependence between the speed and the headway distance in the active driving, it was not found in the passive driving, with respect to the response time. In the case of the time of break pressing, the results were reversed with respect to the response time. Furthermore, during passive driving, even at the emergent conditions, such as fast speed and short headway distance, the breaking pressure can achieve greater value in a shorter time.

Key Words: Advanced Safety Vehicle, Adaptive Cruise Control, Reaction Time, Braking Operation, Stop-distance

1. 結 論

近年, 高度道路交通システム(ITS)の急速な発展にともない, 自動料金収受システムなどに代表されるインフラストラクチャーの整備や安全運転支援システムなどが開発され, 私たちの自動車の運転環境はまた一歩新しい段階へと進んでいる。

その一翼を担う先進安全自動車(ASV: Advanced Safety Vehicle)は, エレクトロニクス技術の応用で車両を知能化することによって, 安全性の格段の向上を狙った次世代の自動車である^①。ASVに搭載される安全技術の1つに, ACC(Adaptive Cruise Control)システムがある。本システムでは, バンパー部分に取り付けられたミリ波レーダ, レーザレーダ, 超音波センサなどの距離センサやカメラによる画像認識を用いることで先行車両や歩行者を察知することを可能にする^②。このような装置から得られる車外情報をもとに, ドライバに危険を知らせたり, コンピュータ制御でアクセル・ブレーキペダルを操作したりすることができ

ることから, ACCシステムは, ドライバの負担軽減や安全運転の支援に大きく貢献すると期待されている。しかしながら, このような新技術は, これまでの自動車の操作性を大きく変えてしまうことにもなり, 延いては, 不安全運転をもたらす可能性もあるため^③, 導入に際しては慎重な検討が必要とされている^④。

そこで本研究では, ACCシステムに依存した運転状態において, 急ブレーキなどの緊急を要する事態に直面したときのドライバの操作・行動特性を実車実験にて計測することで, 交通安全上特に重要である緊急時運転行動にACCシステムがもたらす影響を検証した。

2. 自動車運転行動における能動性と受動性

我々は, 先進安全自動車の問題点として, 運転操作を自動化することにより, 運転者の疲労・負担を軽減する反面, 運転という「能動的行動」を「受動的行動」に変えてしまうことを提起する^{⑤)~⑦)}。通常の運転では, ドライバ自身がアクセル・ブレーキ操作することで自らの運転意思を車に伝えている。

* 原稿受付 2005年9月2日。

^{*1} 正員, 香川大学工学部(☎761-0396 高松市林町2217-2)。^{*2} 香川大学大学院工学研究科。^{*3} マツダ(株)(☎730-8670 広島県安芸郡府中町新地3-1)。

E-mail: wu@eng.kagawa-u.ac.jp

これを能動運転と定義する。我々は、感覚器官で車内・車外情報を認知し、中枢神経でそれらを判断し、運動器官で操作を行う。それが自動車の挙動となり、そうして得られる車内・車外情報を再び認知し、判断して、行動するというサイクルを繰り返して運転をしている。一方、速度調節を ACC システムにより自動化した自動車では、コンピュータがアクセル・ブレーキ操作を行う。その結果、アクセル・ブレーキ操作において、自動車はドライバの運転意識に関係なく動作する。本実験では、このような状態を受動運転と定義する。

ここで、能動運転と受動運転の違いが明らかとなる。すなわち、能動運転時では、運転行動とその結果としての感覚情報は相互に関係性を持ち、アクセル・ブレーキ操作というドライバの運転行動と速度感や加速度感に係わる視覚・体性感覚情報が相互に関係していると言える。ところが、ACC システムに依存した受動運転時では、そのような感覚情報は、行為とは独立なものとして知覚される。

このように異なる運転状態にあるドライバは、緊急を要する事象に直面した時にどのような行動をとるであろうか。これは、今後 ACC システムを搭載した ASV が普及していく可能性を考えると検証しておくべき重要な課題であるといえる。

本研究では、先行車両を比較的低速度で能動的あるいは受動的に追従しているドライバが、交差点で緊急停止をしなければならない状況を想定し、その時のドライバの行動特性を複数のパラメータで計測した。

3. 実車による行動学実験

3.1 実験車両 実車実験における実験車両は、乗用自動車（ミニバン型）のオートマチック車で、総排気量は 2300cc である。本実験車両は、二次元スキャン式レーザレーダを用いた ACC システムを搭載している。本システムは、レーダによって計測された前方車両との距離情報を用いることで、ドライバがペダル操作をすることなく、設定された車間距離及び車速を維持することができる。また運転者の運転行動を測定し記録するために、同車に搭載されたカメラ及び各種計測センサにより、車内・前方画像、車間距離、ブレーキ圧変化、速度・加速度の時系列データを計測した。

3.2 被験者および実験環境 被験者は、年齢 21 歳から 24 歳までの自動車免許を保有した健康男性 3 名である。実験は、香川県警察本部運転免許セン

ター内の標準信号機のある交差点を含んだ 1 周 500m の周回コースにて実施した。信号制御のため、3 名の実験者を交差点に配置した。図 1 に実験に使用したコースの概要を示す。

Fig. 1 The diagram of experimental course

3.3 実験課題 能動実験では被験者がアクセル・ブレーキ操作を行い、受動実験では ACC システムの先行車自動追従機能によってそれらの操作を行った。ただし、両実験ともにハンドル操作は、被験者が行った。また 3 名の被験者全員が両条件を行った。

課題は、追従時における緊急停止課題である。本課題における緊急事象は、ドライバが先行車両を追従しながら交差点に侵入する際に、突然停止信号が表示されるものとした。被験者へは、実験説明時と実験車両乗車時に交差点の停止信号に従わなければならない旨を教示し、緊急事象であることを理解させた。

追従をする際の先行車両の車速及び先行車両と実験車両の車間距離の条件は、実験中における被験者の安全と実験コースによる制限を考慮し表 1 に示す 6 条件に設定した（表 1）。各車速・車間距離の組み合わせを 1 実験ブロックと定義する。なお、6 条件の実施の順番は被験者間でランダムとした。

Table 1 Experimental setup for speed and headway of the leading vehicle

Speed	Headway		
20km/h	10m		
25km/h	10m	15m	
30km/h	10m	15m	20m

実験の流れは、以下の通りである。まず、乗下車位置にて、先行車両に実験者 1 名、実験車両に被験者と実験者の計 2 名の全 3 名が乗車した。実験車両における実験者は、データ収集に加えて、同車車速と先行車両との車間距離を監視して、それが各設定条件より $\pm 5\text{m}$ 以上乖離した場合に被験者への教示を行った。実験試行開始前に、実験車両の加速特性やブレーキ特性に慣れてもらうための訓練試行を

設けた。訓練試行では、ACC システムを動作させ、車速 30km/h、車間距離 15m にて先行車両を追従の上、コースを 15 分間周回させた。この際、本システム特有の自動停車機能なども体験させた。

実験試行開始の際に、被験者に以下の指示を行った。まず、能動・受動運転課題共通に、「追従運転中、交差点において信号が黄色に変わった時に、停止線までに停車すること」を指示した。次に、能動運転時には、「道路交通法に基づいて、アクセル・ブレーキを操作して運転すること」、「同乗する実験者の指示に従い、設定された車速・車間距離にあわせて走行すること」を指示した。受動運転時には、「ブレーキ操作時以外は右足を床面に置いておくこと」、「ACC システムが停止したときは素早く動作しなおすこと」を指示した。

実験車両は、各ブロックで決められた車速・車間距離を維持しながら先行車両を追従し、周回コースを 10 周した。この時、交差点の信号機は、被験者ごとに決められたランダムな信号制御系列に基づいて 50% の確率（全 10 周中、5 回の割合）で青色から黄色へと切り替えられた。信号の変わる時点は、先行車両の前輪が、停止線を通過した時点とした（図 1）。先行車両は、そのまま交差点に進入し、その後、交差点先で停車した。一方、実験車両は、交差点に進入しないように停止線までに停止しなければならない。実験車両が緊急停止後、安全を確認した後、再び追従走行を開始した。10 周の実験試行が完了後、両車両はスタート地点まで戻り、1 実験ブロックは終了する。2-3 分の休憩の後、次の実験ブロックを開始した。

3.4 計測データおよび解析 本報告では、①車内・車外前方のビデオ画像、②実験車両のブレーキ圧時系列データ、③速度時系列データ、④走行距離時系列データを用いて、被験者毎に下記の解析データを算出した。

本研究では、緊急時行動を複数の行動要素から成る複合的行動と考えており、それに応じた複数の行動時間を設定した。すなわち、交差点信号機が黄色信号に変わってから引き続きブレーキペダル操作を開始するまでの時間を反応時間 (A)、ブレーキペダルを最も踏み込むまでの時間をブレーキ踏み込み時間 (B) とした。また、それら 2 つの和、すなわち交差点信号機が黄色信号に変わってからブレーキペダルを最も踏み込むまでの時間を最大ブレーキ圧時間 (C) とした。さらに (D) 最大ブレーキ圧と (E) 停止距離も解析した。

(A) - (D) は、ビデオ画像から検出した信号変化時点をトリガとしてブレーキ圧データ（図 2）から次のように読み取った。(A) は、信号変化時点からブレーキ圧の立ち上がり時点までの時間である。(C) は、信号変化時点からブレーキ圧が最大値となるまでの時間、(B) は、(C) と (A) の差で与えられる。なお、最大ブレーキ圧 (D) を決定する基準は、信号変化時点から 3 秒間でのブレーキ圧時系列データの最大値とした。(E) は、信号変化時点から速度時系列データがゼロになるまでの時点を検出し、走行距離時系列データより算出した。

Fig. 2 Measurement for braking pressure time series

解析データは、統計的に評価した。統計解析には、SPSS 12.0J (SPSS Japan Inc., Tokyo, Japan) の一般化線形モデルを用いた。被験者が少ないため、各個人のデータをプールして固定効果モデルを構築した。実験計画は、運転状態 (2 水準) × 車速あるいは車間距離条件 (3 水準) の 2 要因分散分析であり、関心外因子として被験者要因を加えた。また下位検定には、ボンフェローニの多重比較検定を利用した。統計解析における有意水準は、5% に設定した。

4. 実験結果

4.1 ブレーキ圧データ 図 3 には、各被験者のブレーキ圧を示した。グラフは、5 試行の加算平均の結果である。図 3(A) には、一定車速条件下 (30km/h)、車間距離別のブレーキ圧の推移を示した。縦軸はブレーキ圧 (MPa) を、横軸は時間軸を示す。受動運転時 (右側グラフ)、能動運転時 (左側グラフ) とともに、車間距離が長くなるほどブレーキ圧の振幅が小さくなり、ブレーキ圧の立ち上がりが緩やかである。また、ブレーキ圧を緩めるまでの時間は、車間距離が短いほど短い。また、ブレーキ圧を緩めるまでの時間は車速が速いほど短くなる傾向が見られる。図 3(B) には、一定車間距離条件下 (10m)、車速別のブレーキ圧の推移を示した。図

より、受動運転時、能動運転時の双方で、車速が速いほどブレーキ圧の立ち上がり方が急で、かつ振幅も大きくなる傾向がある。また、ブレーキ圧を緩めるまでの時間は車速が速いほど短い。図 3(A)と図 3(B)より、能動・受動の両実験結果を比較すると、受動運転時のほうが能動運転時よりもブレーキ圧の立ち上がり方が急で振幅が大きくなる傾向がみられる。以下では、3.4 の解析法に基づき、定量的な評価を行った。

(A) Speed 30km/h

(B) Headway 10 km/h

Fig. 3 Time course of braking pressure for each subject under constant speed (A) and headway (B)

4.2 反応時間 図 4(A)に能動運転実験での、図 4(B)に受動運転実験での各被験者・各実験条件における平均反応時間を示す。縦軸は反応時間を、横軸

は実験条件(車速・車間距離)をそれぞれ示す。黒色のグラフは被験者 A.M., 斜線のグラフは被験者 S.T., そして白色のグラフは被験者 N.Y.のデータである。

受動運転実験時には、能動運転実験時のような車速および車間距離の依存性が顕著に見られなかった。またグラフから、能動運転実験時には、一定車速条件下では車間距離が長くなるほど反応時間が長くなり、一定車間距離条件下では、車速が速いほど反応時間が短くなることが示唆される。そこで、同一車間距離下において、車速の違いが反応時間に与える影響を検討した。

(A) Active driving

(B) Passive driving

Fig. 4 Averaged reaction time in each experimental condition of (A) active and (B) passive driving experiment

図 5(A)は、3 人の被験者の平均値である。誤差バーは、全データの標準誤差を示す。分散分析の結果、車速の主効果および車速と運転状態の交互作用が有意であった。(車速: $F(2, 82)=5.27$, $P<0.01$; 車速×運転状態: $F(2, 82)=5.41$, $P<0.01$)。交互作用が有意であったので、下位検定を実施した。その結果、能動運転においてのみ車速の増加とともに反応時間が減少するという速度依存性が存在した。速度 30km/h 条件において受動状態と能動状態に反応時間の差が見られたが、平均的には有意とは言えなかった(運転状態: $F(2, 82)=0.783$, $P=0.393$)。

同様に、同一車速において、車間距離の違いが反応時間に与える影響を検討した(図 5(B))。分散分析の結果、車間距離、運転状態の主効果および車間距離と運転状態の交互作用が有意であった。(車速: $F(2, 82)=7.33$, $P<0.01$; 運転状態: $F(2, 82)=5.37$,

$P<0.05$; 車間距離 $\times$ 運転状態 : $F(2, 82)=3.66$, $P<0.05$) . 下位検定の結果, 能動状態においてのみ車間距離の増加とともに反応時間が増加する車間距離依存性が存在した. 車間距離 10m, 15m 条件では, 受動状態と能動状態の間で反応時間の差が見られた.

Fig. 5 Reaction time averaged by three subjects. (A) Speed dependence, (B) Headway dependence

4.3 最大ブレーキ圧時間 図 6 (A) には, 最大ブレーキ圧時間の同一車間距離における車速依存性を示した. グラフは, 3 人の被験者の平均値で示した. 誤差バーは, 全データの標準誤差である. 分散分析の結果, 車速の主効果のみ有意であった (車速 : $F(2, 82)=5.34$, $P<0.01$). 能動運転における車速 15m と 20m 条件間を除いて, 能動・受動運転ともに速度が高いほど短時間で最大値に達する傾向があった.

図 6 (B) には, 最大ブレーキ圧時間の同一車速における車間距離依存性を示した. 分散分析の結果, 車間距離の主効果のみ有意であった (車間距離 : $F(2, 82)=14.5$, $P<0.01$). 能動・受動運転ともに車間距離の減少とともに最大値になるまでの時間が減少した.

Fig. 6 Time to peak braking pressure averaged by three subjects. (A) Speed dependence, (B) Headway dependence

4.4 ブレーキ踏み込み時間 図 7 (A) には, ブレーキ踏み込み時間の同一車間距離における車速依存性を示した. グラフは, 3 人の被験者の平均値である. 誤差バーは, 全データの標準誤差である. 分散分析の結果, 車速と運転状態の交互作用のみが有

意であった (車速 $\times$ 運転状態 : $F(2, 82)=3.91$, $P<0.05$). 下位検定の結果, 能動状態では, 車速依存性が見られず, 受動状態では 10km/h と 30km/h 条件との間に有意な差が見られ, 速度が高いほど短時間で最大値に達していた. 速度 30km/h 条件において能動・受動運転間でブレーキ踏み込み時間の差が見られたが, 全速度条件を通しては, 能動・受動運転間の車速依存性の有意差を見出せなかった (運転状態 : $F(2, 82)=0.599$, $P=0.441$).

図 7 (B) には, ブレーキ踏み込み時間の同一車速における車間距離依存性を示した. 分散分析の結果, 車間距離の主効果および車間距離と運転状態の交互作用が有意であった. (車間距離 : $F(2, 82)=9.24$, $P<0.01$; 車間距離 $\times$ 運転状態 : $F(2, 82)=4.67$, $P<0.05$). 下位検定の結果, 受動運転においてのみ, 車間距離の増加とともに最大値になるまでの時間が増加する距離依存性が見られた. また能動・受動運転間には, 車間距離 20m の条件においてのみ時間差が存在したが, 平均的な差は有意とは言えなかった (運転状態 : $F(2, 82)=0.284$, $P=0.595$).

Fig. 7 Braking time averaged by three subjects. (A) Speed dependence, (B) Headway dependence

4.5 最大ブレーキ圧 図 8(A)では, 同一車間距離において, 車速がブレーキ圧の最大値に与える影響を検討した. 分散分析の結果, 車速および運転状態の主効果, 車速と運転状態の交互作用が有意であった. (車速 : $F(2, 82)=92.1$, 運転状態 : $F(2, 82)=22.8$, $P<0.01$; 車速 $\times$ 運転状態 : $F(2, 82)=3.70$, $P<0.05$). 交互作用が有意であったが, その程度は小さく, 速度 25km/h, 30km/h では, 最大ブレーキ圧が運転状態によって異なっていた. 速度の増加とともにブレーキ圧の最大値が増加する傾向は, 能動・受動両運転で見られた.

図 8(B)では, 同一車速において, 車間距離がブレーキ圧の最大値に与える影響を検討した. 分散分析の結果, 車間距離および運転状態の主効果, 車間距離と運転状態の交互作用が有意であった. (車間距離 : $F(2, 82)=84.5$, $P<0.01$; 運転状態 : $F(2, 82)=$

22.8, $P<0.01$; 車間距離×運転状態: $F(2, 82)=5.31$, $P<0.05$). 交互作用が有意であったが、その程度は小さく、車間距離 10m, 20m では、最大ブレーキ圧が運転状態によって異なっていた。各運転状態において車間距離の増加とともにブレーキ圧の最大値が減少する傾向は、共通していた。

Fig. 8 Maximum braking pressure averaged by three subjects. (A) Speed dependence, (B) Headway dependence

4.6 停止距離 図9(A)に能動運転実験、図9(B)に受動運転実験における、各被験者の平均停止距離を示した。縦軸は停止距離を、横軸は実験条件を示している。黒色のグラフは被験者 A.M., 斜線のグラフは被験者 S.T., そして白色のグラフは被験者 N.Y. のデータである。

受動運転実験時のグラフでは、一定車間距離条件下において、車速が速くなるほど停止距離が長くなること、また、一定車速条件下のときには、車間距離が長くなるほど停止距離が長くなることがわかった。また能動運転実験時のグラフにおいても、一定車速条件下のとき車間距離が長くなるほど停止距離が長くなり、一定車間距離条件下のときでは、車速が速くなるほど停止距離が長くなることわかった。異なる運転条件間では、大きな差は見られなかった。

図10(A)では、同一車間距離において、車速が停止距離に与える影響を検討した。分散分析の結果、車速の主効果および車速と運転状態の交互作用が有意であった。(車速: $F(2, 82)=45.7$, $P<0.01$; 車速×運転状態: $F(2, 82)=9.87$, $P<0.01$). 交互作用が有意であったので、下位検定を実施した。図10(A)からわかるように、交互作用は、速度 30km/h に存在した。車速の増加により、停止距離が増加するという依存性は、能動・受動運転条件で一致した。

図10(B)では、同一車速において、車間距離が停止距離に与える影響を検討した。分散分析の結果、車間距離の主効果と車間距離と運転状態の交互作用が有意であった(車間距離: $F(2, 82)=7.33$, $P<0.01$; 車間距離×運転状態: $F(2, 82)=3.66$, $P<0.05$). 交互

作用が有意であったがその程度は弱く、下位検定の結果、運転条件間で停止距離の車間距離依存傾向が変わることは無かった。すなわち、能動・受動両運転条件において、車間距離の増加とともに停止距離が増加する距離依存性が存在した。

Fig. 9 Averaged stop-distance of each experimental condition in active (A) and (B) passive driving experiment

Fig. 10 Stop-distance averaged by three subjects. (A) Speed dependence, (B) Headway dependence

5. 考 察

本実験では、能動運転と受動運転の2つの運転状態に置かれた被験者が、緊急停止に直面した時の行動特性を実車実験により評価した。本研究では、緊急時行動を複数の行動要素から成る複合的行動と考えており、それに応じた複数の行動時間を設定した⁶⁾。以下、各行動時間について考察する。

図6に示したように最大ブレーキ圧時間は、速度・車間距離依存性の運転状態における差はほとんどなく、いずれも車速の増加と車間距離の減少という、より緊急なブレーキ操作を必要とする場合に最大ブレーキ圧時間が短くなる傾向を示した。これは、被験者が、運転状態にかかわらず「停止線までに停

止せよ」という実験指示に従い、速度に応じた緊急行動を起こしたためだと考えられる。事際、図 10 で示したように、緊急時行動の結果としての停止距離においても能動・受動運転間で大きな差は見られず、被験者が、運転状態にかかわらずできるだけ早い停車を行ったことが見受けられる。このように、緊急時行動全体を検討した場合、あるいは、その結果としての停止距離を検討した場合には、運転状態に依存した差を積極的に見出すことができなかった。

その一方で、信号変化からのブレーキ圧の推移を見ると明らかな運転状態依存性が見られる（図 3）。そこで、最大ブレーキ圧時間を反応時間とブレーキ踏み込み時間とに分けて、その運転状態依存性を検討した結果が図 5 と図 7 である。その結果、能動運転時には、反応時間が車速や車間距離に依存し、その一方で、ブレーキ踏み込み時間は、車速や車間距離に依存しない傾向が見られ、逆に、受動運転時には、反応時間が車速や車間距離に依存せず、ブレーキ踏み込み時間が車速や車間距離に依存するという結果が得られた。

受動運転時に得られた反応時間の車速や車間距離への非依存性には、複合的な要因が考えられる。受動運転時、足の初期位置は常に床面でありブレーキへの移動時間は、常に一定になりうる。これは、アクセル・ブレーキ操作を必要とし、したがって足の初期位置が一定しない能動運転時とは異なっている。しかしながら、能動運転時における反応時間の車速や車間距離依存性を考えると、本結果が単純に移動時間によるものではないことがわかる。能動運転時には足の初期位置が一定しないという状況にもかかわらず、車速が速く車間距離が短いというより緊急の操作を必要とする場合には、反応時間が短くなっている。もしも、被験者が緊急時において、常に同一の行動を試みるならば、受動運転においても車速や車間距離への依存性が見られるはずである。

ここにおいて、我々は、能動・受動運転の緊急時行動への影響を考えている。能動運転時、ドライバは五感を通して得られる環境情報を基に次を取るべき行動を選択している。そして、その行動の結果が自動車を通じて環境へと作用し再びドライバに知覚されるため、ドライバは、行動、自動車、環境、知覚からなる閉ループの中に存在していると考えられる。能動運転条件において、緊急時行動は車速や車間距離などの環境情報には依存した。能動運転中、ドライバは、速度や車間距離などの環境情報に応じた行動を行っており、したがって緊急事態に直面し

たとしてもこれらの環境情報に応じた行動をとることができたと考えられる。一方、受動運転条件では、緊急時行動が車速や車間距離などの環境情報に依存しなかった。受動運転中において、これらの環境情報と行動との関連性は、能動運転に比べて低く、したがって緊急時行動においても明確な関連性が得られなかったと考えられる。

本実験の反応時間は、黄色信号に気付き足運動を開始するまでの時間とそれに続いてブレーキペダル操作を開始するまでの時間の和であり、すでに複合的な行動パラメータとなっている。本実験では、足の運動の計測は車内ビデオ画像のみに拠ったため十分な計測精度を得ることができなかった。どちらの行動パラメータが運転状態に依存するのかを検討するためには、筋電図測定などにより運動開始時間を正確に測定する必要がある。これは、今後の課題である。

ブレーキ踏み込み時間に関しては、反応時間とは逆に、受動運転時に速度・車間距離依存性が見られた（図 7）。本課題では、停止線までに止まるという目標が存在し、被験者は運転状態によらずこれを実現するような緊急時行動をとっていた（図 6、図 10）。受動運転時、被験者は、反応時間が車速や車間距離に依存しないことによって生じた時間的余裕や遅延をそれに続くブレーキ踏み込み行動の時間を調節することで埋め合わせる方策を採ったものと考えられる。特に車速が速く車間距離が短い緊急の操作を必要とする条件（車速 30km/h、車間距離 10m）においては、その傾向が顕著であった。また、このような条件では、最大ブレーキ圧データも受動運転時に大きく（図 8）、すなわち短時間に大きなブレーキ力を発生させること（急ブレーキ）により自動車を制御したものと考えられる。

以上をまとめた概念図を図 11 に示す。複合的行動としての緊急時行動には、受動・能動の運転状態間の差を積極的に見出せなかった。複合的行動の要素としての信号への応答（反応時間）とブレーキ操作（ブレーキ踏み込み時間）へ、異なる影響をした。能動運転は、車速や車間距離などの環境情報に即した反応時間とそれに続く比較的安定したブレーキ操作で特徴付けられた。一方、受動運転では、反応時間が車速や車間距離などの環境情報に依存しなかった。しかしながら、そのままでは能動運転時と同様な停止位置を実現することができないために、反応時間に続くブレーキ操作を変化させることで緊急時に対処した。結果として、ブレーキ踏み込み時間が

車速や車間距離に影響を受けた。このような受動運転特性は、車速が速い場合や車間距離が短い場合に急ブレーキをもたらす可能性がある。ACC システム作動時におけるブレーキ特性は、このような受動運転特性に合わせて通常運転時とは変える必要があるかもしれない。

Fig. 11 Time to peak of braking pressure averaged by three subjects. (A) Speed dependence, (B) Headway dependence

本実験は、速度 10km/h から 30km/h の比較的低速域における運転行動特性を評価したものである。本結果が、中高速域におけるドライバの運転行動にまで一般化できるかどうかは、今後の検討を必要とする。

6. 結 言

本研究では、ドライバ本人がアクセル・ブレーキペダルを操作する能動運転と、ACC システムがそれらを行う受動運転の 2 つの運転状態にて先行車両を追従しているという場面を想定した。そこで、ドライバが緊急停止の事象に直面した時のドライバの操作・行動特性を反応時間やブレーキ圧などの指標を基に定量的に評価した。

その結果、運転状態の違いは、緊急時行動全体を特徴付ける指標である最大ブレーキ圧時間や停止距離に対して積極的に影響しなかったが、緊急時行動を信号への応答（反応時間）とブレーキ操作（ブレーキ踏み込み時間）の要素からなる複合的行動と捉え、各要素に異なる影響を及ぼすことが分かった。能動運転は、車速や車間距離などの環境情報に応じた反応時間とそれに続く比較的安定したブレーキ操作で特徴付けられた。一方、受動運転では、反応時間が車速や車間距離などの環境情報に依存し

なかったが、ドライバはそれに続くブレーキ操作を環境情報に応じて変化させることで緊急時に対処した。

本実験の結果は、ACC システムにおける先行車追従機能が、ドライバの運転行動に影響を及ぼすこと、加えて、このようなシステムの評価を行う際にドライバの運転行動を複合的行動として捉える重要性を示している。

謝 辞 本研究の被験者と協力者としてご協力を頂いた香川大学工学部呉研究室の各位に感謝いたします。なお、本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金（基盤研究(B):17360117）の支援を受けました。ここに記して謝意を表します。

文 献

- (1) Yamamoto, Y. et al., Development of Mazda ASV-2, *MAZDA TECHNICAL REVIEW*, Vol. 19, (2001), pp. 64- 72.
- (2) Ninomiya, Y., Driving Environment Recognition in ITS, *Proceedings of 12th Communication Systems Workshop on Information, Communication and Signal Processing*, (1999), pp. 7-11.
- (3) Uno, H. et al., Effect of Driving Support Function on Driver Arousal Level During Driving, *JARI Research Journal*, Vol. 24, No. 9 (2002), pp. 25-28.
- (4) Takahashi, H. and Sato, H., A Study on Relationship Between Driver and Vehicle in Automatic Controlled System Environments. The Case of Adaptive Cruise Control System from a Cognitive Science Point of View, *Journal of the Society of Automotive Engineers of Japan*, Vol. 52, No.10 (1998), pp. 74- 79.
- (5) Kojima, S. et al., Comparison between the Active Speed Reduction Timing and the Passive one to the Slowdown of the Preceding Car, *Proceedings (2002 JSAE Spring Convention)*, No. 97-02 (2002), pp. 5- 8.
- (6) Hirose, T. et al., Research on the Difference in Sensitivity between the Activity and the Passivity in Advanced Vehicle Control and Safety System, *Proceedings of Japan Ergonomics Society Kanto Branch*, (2003), pp. 85- 86.
- (7) Marumo, Y. et al., Effects of Low-Speed ACC Function on Driver Behavior, *JARI Research Journal*, Vol. 25, No.7 (2003), pp. 279- 282.
- (8) Yang, Z. et al., Research on Detection of Precede Braking Reaction, *Transactions of Society of Automotive Engineers of Japan*, Vol. 35, No.4 (2004), pp. 185- 190.