

運転中の情報機器操作によるディストラクション発生時の車両挙動に関する研究

萩原 亨¹・榎間 遼²・鈴木 祐太郎³

¹フェロー 北海道大学大学院工学研究院教授 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail:hagiwara@eng.hokudai.ac.jp

² 東日本旅客鉄道株式会社 水戸支社 (〒310-0011 茨城県水戸市三の丸1-4-47)

E-mail:hanako@jsce.co.jp

³ 北海道大学大学院工学研究院北方圏環境政策工学専攻 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail: yutaro-boeing787@ec.hokudai.ac.jp

本研究では、画面を操作するタイプのIVISの使用時において、視認・動作・認知ディストラクションが車両挙動与える影響を明らかにする。各々のディストラクションが単独で発生したとき、組み合わせとして複合したとき、車両挙動にどのように影響するかを知ることを目的とする。この目的を達成するため、ディストラクションを考慮したタスクロード（二次タスク）を被験者に与え、先行車の車両を一定速（約60km/h）で追従させ、そのときのドライバ挙動（目視時間と左腕動作時間）と車両挙動（車両速度・車間距離・横距離）を同時に実車で計測した。その結果、視認と認知が複合するディストラクションが存在するとき前後方向の車両挙動への影響が大きく、それに動作が加わると左右方向への影響が顕著になると言えた。また、車両挙動をコントロールするには、二次タスク実行時の1回当たりの視認継続時間、動作継続時間を短くするようなマンマシンインターフェースが有効と言えた。

Key Words : Human Engineering, Distraction, Driving characteristics, IVIS

1. はじめに

自動車の運転は、車内外の多くの事象に注意が必要となる複雑な仕事である。米国運輸省の道路交通安全局（NHTSA）は、運転の活動に干渉するドライバ挙動を「ディストラクション」と定義している(1)。こうしたディストラクションによる事故は交通事故の多くの割合を占めており(2)、2010年にアメリカで発表された交通事故データによると、衝突事故の17%はドライバに何らかのディストラクションが作用していたために起こった事故であるとされている。このような事故を減らす為、運転行動に干渉するディストラクションとはどのようなものかを知る必要があり、NHTSAは其中でもドライバが車載情報機器（以降、IVIS）を使用した際の運転行動について着目している。IVISにより引き起こさるディストラクションについては、国内外で研究がなされている。近年普及が進んでいるIVISは、画面を触れることでメニュー選択する様式のものが多く、IVIS利用時に視認・動作・認知の3種類のディストラクションが起きると言われている(3)。一方、過去の研究では、これら3種

類のディストラクションを明確に定義し、車両挙動に与える影響を検討した例は少ない。また、ディストラクションによるドライバ挙動と車両挙動の両者を詳細に計測し、ディストラクションの影響を評価した例も少ない。

そこで、本研究では、IVIS利用時のディストラクションを定義し、車両挙動にそれらがどのような影響を及ぼすかを定量的に示すことを目的とする。この目的を達成するため、ディストラクションを考慮したタスクロード（二次タスク）を被験者に与え、先行車の車両を一定速（約60km/h）で追従させ、そのときのドライバ挙動（目視時間と左腕動作時間）と車両挙動（車両速度・車間距離・横距離）を同時に実車で計測した。

2. 研究方法

(1) 試験走路, 実験日時, 被験者

被験者実験は、(独) 土木研究所・寒地土木研究所・苫小牧試験走路で、2011年7月2日（土）～2011年7月7日（木）に実施した。実験では、延長2.6kmの試験走路を反時計回りした。自動車運転に慣れていて（年間走行距

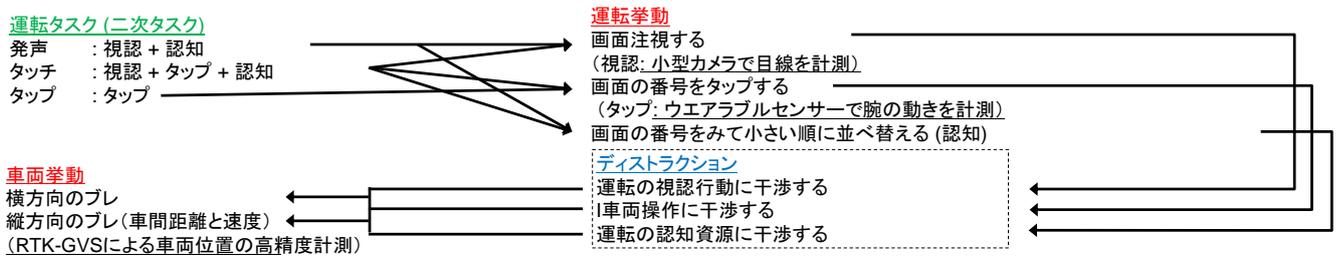


図-1 二次タスク、運転挙動、ディストラクション、車両挙動の関係

離5,000km以上) 視機能が正常な16名 (男性12名, 女性4名, 平均22.4歳) が, 被験者として実験に参加した。

(2) 二次タスク

視認・動作・認知に関するディストラクションが, 車両挙動に与える影響を明らかにするため, 以下の3種類の二次タスクを被験者に課した。図1は, 二次タスクによる運転挙動、ディストラクション、車両挙動の関係を示している。

- ①タスク 1 (以降, 発声) : 図2の黄色で塗られた数字をドライバは視認し, 数字の小さい順に, その数字を発声する。視認と認知のディストラクションが発生する。
- ②タスク 2 (以降, タッチ) : 図2の黄色で塗られた数字をドライバは視認し, 数字の小さい順に, その数字を指でタッチする。視認, 動作 (画面のタップ), 認知のディストラクションが発生する。
- ③タスク 3 (以降, タップ) : ディスプレイの4隅を左上から時計回りに一定回数タップする。開始時に, ディスプレイ位置を確認する視認が必要となるが, その後はタップ動作のみを繰り返す。視認のディストラクションは小さく, 主に動作ディストラクションが発生する。

(3) 認知負荷

IVISとして, 図2に示すCentury社製の8インチディスプレイ (LCD-8000U) を用いた。IVIS使用時における視認時間が, ディストラクションに与える影響を評価するため, ディスプレイに表示されている1から20の数字から並べ替える数字の個数を7個 (図2(a)の黄色、認知負荷<小>) と14個 (図2(b)の黄色、認知負荷<大>) とした2通りの条件を用意した。数字の個数は, 米国自工会 (AMM) が定めた「タスク完了までの総視認操作時間は20秒を超えてはならない」という規定(4)を踏まえた。

(4) ディスプレイの位置

ディスプレイの位置がディストラクションに与える影響を知るため, 日本人男性の身長50%タイル(5)が座った時のアイポイント・ショルダーポイントを基準とし, 図3に示すような上下の位置を設定した。日本自動車工業会 (JAMA) による画像表示装置の取り扱いに記載されている「取り付け付位置の見下げ角度は30°以内とす

(a) 認知負荷小

(b) 認知負荷大

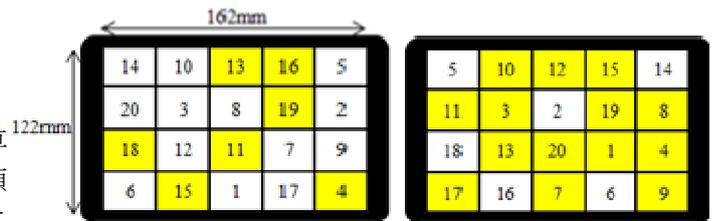


図-2 タッチスクリーン

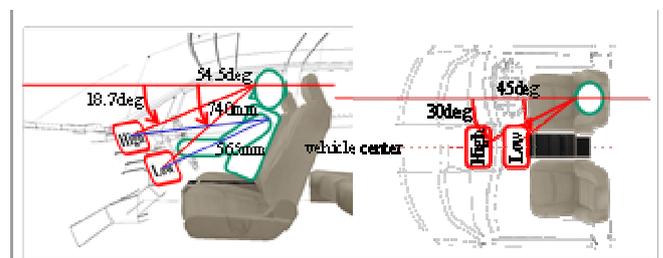


図-3 タッチスクリーンの位置



図-4 運転挙動の計測装置

る」という規定を踏まえた。

(5) 車両挙動とドライバ挙動の計測

(株) バイオシステムズのRTK-GVS速度・距離計を先行車と追従車 (被験者運転) に搭載し, 先行車と追従車の平面座標と車両の進行方向速度を計測(100Hz)した。その精度は, 座標値±2cmと速度±0.1km/hとなっている。計測データから実験車の速度, 2台の車両の進行方向距離差 (以降, 車間距離), 2台の車両の横断方向距離差 (以降, 横距離) を求めた。

被験者の目視が, ディスプレイに向けられた時間 (以

降、目視時間)と頻度を計測するため実験車両のダッシュボード上に小型カメラを設置し、被験者の目視時間を撮影した(図4)。被験者がディスプレイを目視した開始と終了の時刻を記録し、1回の目視時間を求めた。

ATR-PROMOTION社製の小型無線ハイブリッドセンサ(WAA-010, 39m×44mm×12mm, 20g)を被験者の左手首に装着し、ディスプレイをタップしたときの動作を計測した(図4)。3軸加速度センサ・3軸ジャイロセンサを搭載している。人体の動作を測定するために開発されたセンサであり、Bluetoothが搭載され無線でデータを収集できる。ドライバがディスプレイをタップしたときの左腕動作を計測した。20Hzで計測された3軸ジャイロセンサの角速度を用い、3軸合成角速度(二乗和の平方根)を算出した。左腕の動作を判定する閾値を、3軸合成角速度が200deg/sec以上でかつそれが0.2sec以上継続する場合とした。被験者の目視を計測した小型カメラに撮影された左腕の動きとセンサで計測された3軸合成角速度を同期するデータを作成し、閾値を決定した。

小型無線ハイブリッドセンサ、目線映像、RTK-GVSによる車両挙動のデータ同期を行うためにスイッチ(図4)を用意した。スイッチを実験者が押したとき、小型ハイブリッドセンサデータを記録している装置とRTK-GVSにトリガー信号が出力される。また、スイッチを押すと同時にLEDが点灯し、それがカメラ映像に映り込むようにした。

(6) 実験計画

一次タスクとして、被験者には、一定の車間距離を維持しながら約60km/hで先行車を追従するタスクを課した。車間距離として、各々の被験者が先行車のナンバーが判別できる距離とした。繰り返し計画(被験者内計画)を適用し、二次タスクの影響を評価した。1名の被験者は、二次タスク(3水準)×ディスプレイ位置(2水準)×認知負荷(2水準)の12条件すべてを実験する。二次タスクなしの走行条件は、13走行の最初に実施し、残りの12条件の順番はランダムとした。

(7) 実験手順

実験前に、実験の内容、実験時のリスク、リスクのレベル、事故がもし起きたときの対応などについて被験者に説明を行った。これらの説明から実験参加を決めた被験者には、同意書へのサインを依頼した。次に、被験者は、実験車に乗り試験走路を2周した。被験者は、実験車に慣れるため、複数回の週回走行を実施した。同時に、実験を行う直線部の位置、適正な車間距離の学習、二次タスクの練習を行った。被験者1人当たりの運転時間は約50分であった。その間3回ほど中休みとして、5分程度の休息をとって実験した。

3. 結果

(1) 二次タスク別の視認時間と左腕動作時間

図5(A)は、二次タスク別・認知負荷別・ディスプレイ位置別の被験者の総視認時間を示している。総視認時間とは、二次タスク開始から終了までの目視時間を合計した値である。それを16名の被験者別に求め、その平均と標準偏差を図示した。図5(A)から、タップと通常走行においてディスプレイの総視認時間はほぼゼロであった。発声とタッチの8条件を対象に被験者内効果を考慮した分散分析を行った結果、二次タスク($F(1,122)=3.03, p<0.1$)と認知負荷($F(1,122)=175.1, p<0.01$)が有意となった。タッチの総視認時間の方が、発声より長くなった。認知負荷<大>の総視認時間は<小>より長くなった。

同様に、図5(B)は、二次タスク別・認知負荷別・ディスプレイ位置別の16名の被験者の総左腕動作時間を示している。総左腕動作時間とは、二次タスク開始から終了までの左腕動作時間を合計した値である。それを16名の被験者別に求め、平均と標準偏差を図示した。発声と通常において総左腕動作時間はほぼゼロであった。タッチとタップの8条件を対象に被験者内効果を考慮した分散分析を行った。二次タスクと($F(1,122)=6.20, p<0.05$)、認知負荷($F(1,122)=80.7, p<0.01$)が有意となった。タッチの総左腕動作時間はタップより長い結果となった。認知負荷<大>の総左腕動作時間は<小>より長くなった。

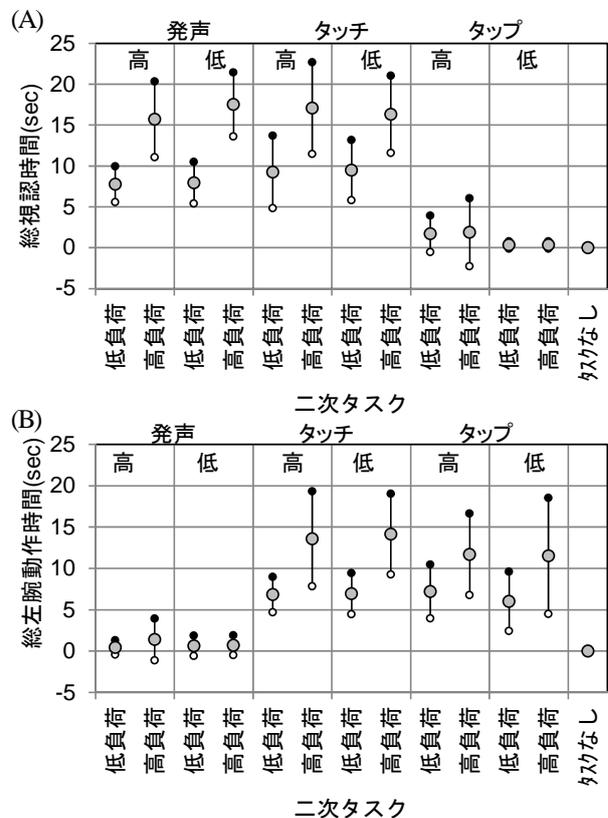


図5 二次タスク別・認知負荷別・ディスプレイ位置別(高、低)の総視認時間と総左腕動作時間

(2) 走行速度, 車間距離, 横距離

図6は, 二次タスク13条件の平均速度, 平均車間距離, 平均横距離を示している. 図4と同様, 二次タスク実行時間中の計測値の平均を被験者別に求め, それを平均した. 図6(A)は, 13条件の平均車間距離を示している. 一次タスクのみとなる通常走行では, 被験者16名の平均車間距離が31.0m, 標準偏差は10.0mであった. タッチの平均車間距離が32.6m (標準偏差: 10.6m) であった. これは, 発声の31.9m (標準偏差: 9.23m), タップの29.8m (標準偏差: 9.07m) に比べ平均車間距離, 標準偏差ともに大きな値となった. 被験者内効果を考慮した二次タスク, 負荷, 位置の3要因分散分析を行った結果, 有意となる要因はなかった.

図6(B)は, 13条件の平均横距離を示している. 一次タスクのみとなる通常走行では, 被験者16名の平均横距離が0.27m (標準偏差: 0.12m) であった. タッチの平均横距離が0.36m (標準偏差: 0.16m) であり, 他の2つの二次タスクより大きくなった. 3つの二次タスクとも, 位置<高>のときに平均横距離が大きくなった. 被験者内効果を考慮した3要因分散分析を行った. 二次タスク ($F(2,186)=2.55, p<0.10$) とディスプレイ位置 ($F(1,186)=3.53, p<0.10$) が有意となった. 認知負荷は有意とならなかった. 二次タスクの多重比較から, タッチと発声, タッチとタップの間に有意差があった. 視認, 動作, 認知のディストラクションが複合することによって平均横距離は長くなると言えた.

図7は, 二次タスク別, 認知負荷別, ディスプレイ位置別の走行速度・車間距離・横距離の標準偏差の平均値と標準偏差を示している. 図7(A)は, 13条件別の車間距離の標準偏差の平均とその分布を示している. 速度の標準偏差と同様, 発声およびタッチの認知負荷<高>の条件で, 被験者間の標準偏差のバラツキが非常に大きくなった. 被験者内効果を考慮した3要因分散分析を行った結果, 二次タスク ($F(2,186)=10.6, p<0.01$) と認知負荷 ($F(1,186)=23.6, p<0.01$) が有意となった. 多重比較から, 発声とタップおよびタッチとタップに有意差があった. 視認および認知ディストラクションによって速度と同様に車間距離の分散が大きくなると言えた.

図7(B)は, 13条件別の横距離の標準偏差の平均とその分布を示している. タップ, 発声, タッチの順に標準偏差の平均が大きくなっていった. また, ディスプレイ位置<高>のとき, 被験者間の標準偏差のバラツキが大きくなった. 被験者内効果を考慮した3要因分散分析を行った結果, 二次タスク ($F(2,186)=12.1, p<0.01$) と認知負荷 ($F(1,186)=4.51, p<0.05$) が有意となった. 多重比較から, タッチと発声, タッチとタップに有意差があった. 視認, 動作, 認知のディストラクションが複合することによって横距離の分散が大きくなると言えた.

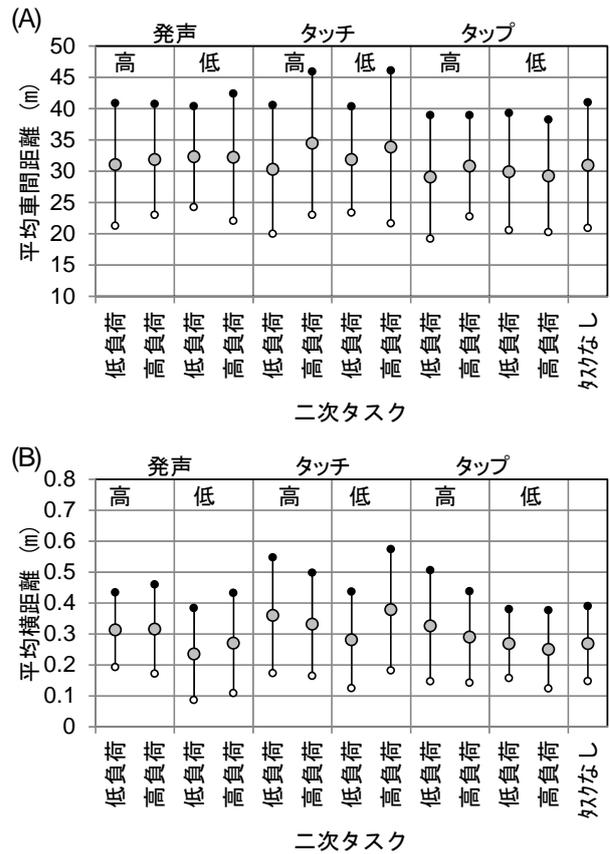


図-6 二次タスク別・認知負荷別・ディスプレイ位置別 (高、低) の平均車間距離と平均横距離

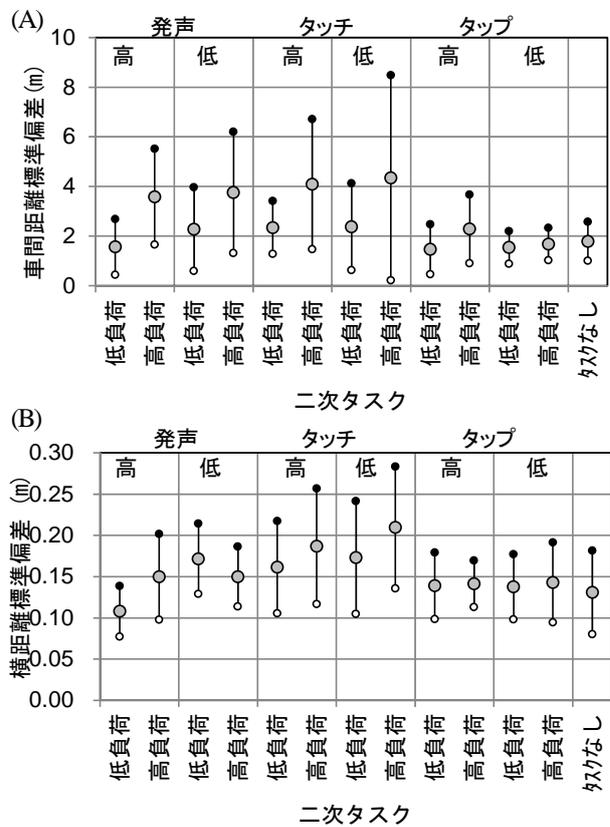


図-7 二次タスク別・認知負荷別・ディスプレイ位置別 (高、低) の車間距離標準偏差と横距離標準偏差

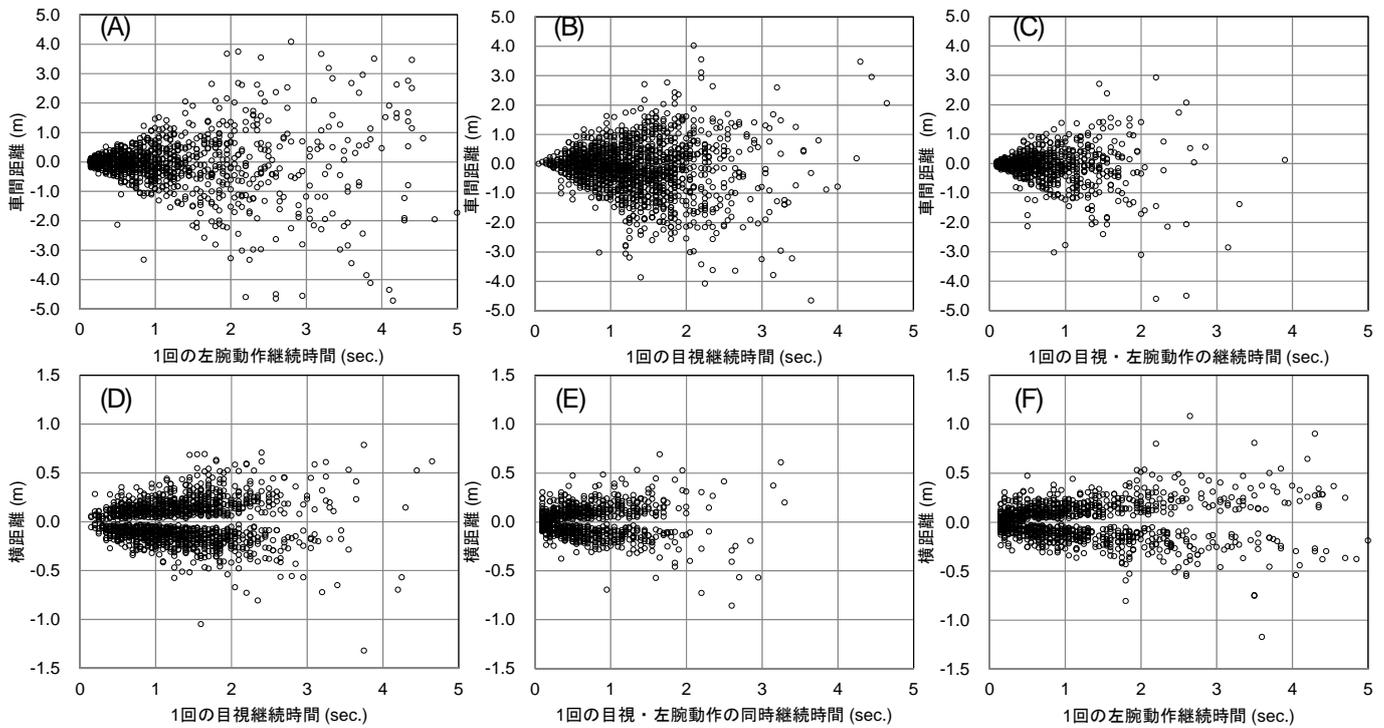


図-8 1回の目視継続時間、左腕動作継続時間、目視・左腕動作同時継続時間と車間距離および横距離との関係

(3) 目視および左腕動作継続時間とが車両挙動に与える影響

被験者16名12タスク、全192回の走行において、目視継続時間1回あるいは左腕動作継続時間1回における車間距離変動と横距離変動を求めた。図8(A)は、1回の目視継続時間と車間距離変動をプロットした結果である。192回の走行で1,638回の目視継続時間があった。ここで、車間距離変動が正の場合は車間距離が縮むことを意味し、負の場合は車間距離が伸びることを意味する。車間距離変動の最大値は、目視継続時間に比例して大きくなった。車間距離が伸びるか、縮むかは半々と言えた。図8(B)は、1回の左腕動作継続時間と車間距離変動 (N=1,287) をプロットした結果である。目視と同様、車間距離変動の最大値は、左腕動作継続時間に比例して大きくなった。車間距離が伸びるか、縮むかは目視と同様に半々と言えた。図8(C)は、目視と左腕動作が同時に発生している継続時間と車間距離変動 (N=946) の分布を示している。同時に発生する時間が長くなることに比例して、車間距離変動の最大値は大きくなった。

目視継続時間1回あるいは左腕動作継続時間1回における横距離変動を求めた。図8(D)は、1回の目視継続時間と横距離変動 (N=1,638) をプロットした結果である。ここで、横距離変動が正の場合は左に揺れることを意味し、負の場合は右に揺れることを意味する。目視継続時間が0秒から2秒までは、横距離変動の最大値が拡大する傾向となった。2秒以上のとき、横距離変動の最大値は一定となった。右に揺れるか、左に揺れるかは半々と言えた。図8(E)は、左腕動作継続時間と横距離変動

(N=1,287) をプロットした結果である。左腕動作継続時間が伸びても、横距離変動の最大値はそれほど拡大しない傾向となった。図8(F)は、目視と左腕動作が同時に発生している継続時間と横距離変動 (N=946) を示している。継続時間が長くなっても横距離変動は拡大しない結果となった。

(4) 目視と左腕動作の継続時間が二次タスク実行時の車両挙動に与える影響

目視 (左腕動作) 継続時間を長くし、与えられた二次タスクを完了すべきか、あるいは目視 (左腕動作) 継続時間を短く分割して二次タスクを完了すべきか、どちらが車両挙動に与える影響が小さいのかを調べる。被験者別・二次タスク条件別に前述の継続時間別の車間距離変動および横距離変動データを再整理した。具体的には、被験者別・二次タスク別 (N=192) に目視継続時間別・左腕動作継続時間別・両者が同時に発生している継続時間別の平均車間距離差 (絶対値, 以降, HD) と平均横距離差 (絶対値, 以降, LD) を求めた。これらの数値は絶対値のため左右どちらに動くのか、前後どちらに動くのかを評価することはできない。前後左右の変位の大きさのみ評価可能となる。これらの平均値を目的変数とし、回帰モデルを用いて前述の仮説を検証した。説明変数とし、X1:目視継続時間, X2:左腕動作継続時間, X3:同時継続時間, X4:ディスプレイ位置, X5:認知負荷とした。また、各々の被験者の運転特性を表す指標, X6:車間距離標準偏差とX7:横距離標準偏差を加えた。X6とX7の2つの指標は、被験者固有の運転特性を表す指標とし、

各条件別の車間距離と横距離の標準偏差を求め被験者別に平均したものである。これらは、進行方向の車間距離バラつき度合と横方向の車線バラつき度合を表す個人特性を意味している。3種類の二次タスクは、目視が含まれていない、左腕動作が含まれていない、数値認知が踏まれていないなど、異なる条件となっている。そこで、3種類の二次タスク別に回帰モデルを構築した。

統計分析ソフトのR2.15を用いてパラメータの同定を行った。表1は、変数選択後に有意となった説明変数、各々の偏回帰係数値、t値、決定係数を示している。発声の平均車間距離差を除いて、決定係数は、0.5前後となった。平均車間距離差のときにはX6:車間距離標準偏差が、平均横距離差のときには、X7:横距離標準偏差が有意な説明変数となった。これらの運転の固有指標が小さければ、二次タスク実行中の平均車間距離差および平均横距離差は小さいものとなる。

発声のとき、目視継続時間が長くなると平均車間距離差と平均横距離差が増えた。ディスプレイの位置条件が低くなると平均横距離差が増えた。タッチのとき、目視継続時間と左腕動作継続時間が長くなると、平均車間距離差および平均横距離差が増えた。タップのとき、左腕動作継続時間が長くなると、平均車間距離差および平均横距離差が増えた。タップ時間が増えたとき平均横距離差が短くなった。これらから、二次タスクを完了する方策として、目視継続時間および左腕動作継続時間を短くし、完了する方が有利と言えた。インターフェースの台上評価の方法においては、1回の視認継続時間は1.5秒以内(5)とすることが求められており、この回帰モデルの結果は整合すると言える。また、発声においてディスプレイの位置条件が低くなったとき平均横距離差が大きくなった。(社)日本自動車工業会は画像表示装置の取り扱いでは、俯角が30°以内になるように画面を取り付けることとしている(5)。本研究のディスプレイの位置は、<上>条件を俯角18.7°、位置<下>条件を俯角54.5°となっている。基準より大きい俯角のとき平均横距離差が大きくなる結果となった。

4. まとめ

車載情報機器の使用に伴う、視認・動作・認知のディストラクションが一定速度で追従する車両挙動に与える影響について評価した。視認・認知(発声)、視認・動作・認知(タッチ)、動作(タップ)の3種類の二次タスクを設定した。二次タスクの種類に加え情報機器(ディスプレイ)の位置と負荷を条件として組み込んだ。16名の被験者が実験に参加し、二次タスクのない条件を加えた13条件の実験を実施した。

表-1 有意となった説明変数とそれらの偏回帰係数

二次タスク	目的変数	説明変数	偏回帰係数	t-値	R ²
発声	平均車間距離差	目視継続時間	0.34	3.47	0.26
		ASDH *1	0.11	2.99	
	平均横距離差	目視継続時間	0.04	2.31	0.46
		ディスプレイ位置 ASDL *2	0.03	2.56	
タッチ	平均車間距離差	目視継続時間	0.83	3.28	0.47
		左腕動作継続時間	0.41	3.49	
		ASDH *1	0.40	4.58	
	平均横距離差	目視継続時間	0.13	4.47	0.61
		左腕動作継続時間	0.51	3.75	
		ASDL *2	2.03	5.03	
タップ	平均車間距離差	左腕動作継続時間	0.33	6.84	0.52
		ASDH *1	0.13	1.91	
	平均横距離差	認知負荷	-0.03	-1.76	0.65
		左腕動作継続時間 ASDL *2	0.04	5.39	
			1.76	4.87	
Note:					
*1: 各被験者別の車間距離標準偏差					
*2: 各被験者別の横距離標準偏差					

被験者別、12条件別の二次タスク実行中の車間距離、横距離の平均値と標準偏差を求め、ディストラクションの影響を検討した。タッチと発声、タッチとタップの結果から、視認・認知・動作の3種類のディストラクションが複合すると横距離の平均値が長くなりかつ標準偏差も大きくなった。また、視認・認知のディストラクションが存在すると、動作のディストラクションのみの二次タスクに比べ、車間距離の標準偏差が大きくなった。

視認と動作について個々の目視継続時間と左腕動作継続時間に分割し、その継続時間における車間距離差、横距離差の変化を検討した。目視継続時間および左腕動作継続時間が2秒程度まで長くなるにしたがって車間距離差の変動は大きくなった。継続時間1秒で±1m程度の変動、2秒で2m程度の変動となった。ただし、継続時間に係らず車間距離差が延びるか縮むかは半々であった。一方、横距離差の変動は、車間距離差ほど継続時間に依存していなかった。横距離差の最大変動幅は±0.5m程度であった。

さらに、目視(左腕動作)継続時間を長くし、与えられた二次タスクを完了すべきか、あるいは目視(左腕動作)の継続時間を短く分割して二次タスクを完了すべきか、どちらが車両挙動に与える影響が小さいかを調べた。具体的には、被験者別・3種類の二次タスク別(N=192)に目視継続時間別・左腕動作継続時間別・両者が同時に発生している継続時間別の平均車間距離差と平均横距離差を求めた。7種類の説明変数を用いて3種

類の二次タスク別に回帰モデルを構築し、1回の目視継続時間と左腕継続時間を短くしかつ被験者固有の特性を小さくすることが、二次タスク実行中の車両挙動の変化を小さくなることを見出した。

以上をまとめると、視認と認知が複合するディストラクションが存在するとき前後方向の車両挙動への影響が大きく、それに動作が加わると左右方向への影響が顕著になると言えた。また、車両挙動をコントロールするには、1回当たりの視認継続時間、動作継続時間を短くするようなマンマシンインターフェースが有効と言えた。さらに、ドライバ自体の特性を踏まえることも大変重要な要素となっていた。今後、これらの成果をベースに具体的なインターフェースを検討し、その効果を計測していく必要がある。

参考文献

- 1) Michael A. Regan, John D. Lee, Kristie L. Young: Driver Distraction - Theory, Effects, and Mitigation (2009), CRC Press.
- 2) Traffic Safety Facts - Research Note: An Examination of Driver Distraction as Recorded in NHTSA Database, DOT HS 811 216, NHTSA, Washington, D.C. (2009).
- 3) Visual-Manual NHTSA Driver Distraction Guidelines for In-Vehicle Electronic Devices, Federal Register, Vo.77, No.37, Department of Transportation, NHTSA(2012).
- 4) Malaysian Standard. 2003. MS ISO 7250:2003 Basic human body measurements for technological design (ISO 7250: 1996, IDT). Department of Standards Malaysia.
- 5) (社) 日本自動車工業会：画像表示装置の取り扱いについて改訂第3.0版.(2004).
- 6) 飯星明：車載情報機器の基準と運転中使用規制、国際交通安全学会誌、Vol.31/No.2、pp33-38(2006).

EFFECT OF DISTRACTION ON VEHICLE BEHAVIOR DURING IN-VEHICLE INFORMATION SYSTEM USE

Toru HAGIWARA, Ryo SAKAKIMA and Yutaro SUZUKI

This study investigated the effect of distraction on driving performance for drivers using a touch screen while driving on a test track. We conducted a field experiment on the test track using 16 participants whose ages ranged from the twenties to the fifties. The primary task was car following. There were three secondary tasks: visual task, combined task (visual-manual task) and manual task. Each participant drove 13 task conditions including the baseline condition. Driving performance was evaluated in terms of speed, headway and lateral position. Based on the results of the study, it was found that when drivers operated the touch screen while driving, each task loading had a different effect on each driving performance indicator. Measures that are effective in maintaining high driving performance are to decrease the individual duration of each secondary behavior, and to reduce the variety of task loadings and their combinations that occur as a result of operating the touch screen.