原著論文

携帯電話による通話および同乗者との会話が自動車運転に及ぼす影響

土井 俊央, 村田 厚生

岡山大学大学院

Effects of Conversation with Cell Phone or Passenger on Driving

Toshihisa DOI and Atsuo MURATA

Graduate School of Okayama University, 3-1-1 Tsushimanaka, Kita-ku, Okayama 700-8530, Japan

Abstract : The aim of this study was to reveal the effects of conversation during driving on safety. This study investigated the driving performance and the hazard detection performance in different conversation conditions. The experimental factors were whether a driver conversed with a passenger next to him or her or via cell phone, conversation method (by cell phone or with passenger), hands to control a steering (one handed or two handed), and difficulty of conversation (easy or difficult). The participants were required to simultaneously carry out a simulated driving task and a hazard detection task. The results showed that there was no significant difference of the hazard detection performance (the reaction time and the percentage miss) among the conversation conditions. This indicates that hands-free phone conversation and conversation with a passenger deteriorate the hazard detection performance and impair the driving safety although the current regulation prohibits only hand-held phone conversation.

Keywords : Automotive driving, Driver distraction, Hand-held phone conversation, Hands-free phone conversation, Passenger conversation

1. はじめに

昨今、スマートフォンをはじめとするモバイル端末は広く普及しており、日本国内での個人におけるモバイル端末保有率は84.0%にも上る[1]。こうしたモバイル端末は我々の日常生活に欠かせないものであり、利便性の向上に貢献しているが、これらの不適切な利用は交通事故等につながりかねない。特に、自動車運転中のモバイル端末の使用に起因する事故は非常に多く、道路交通法第七十一条五の五において運転中に携帯電話を手を持って通話することや画面を注視することは禁止されている[2]。近年のスマートフォンの急速な普及により、モバイル端末に関連する交通事故の原因の多くはモバイル端末画面の注視に起因するものと報告されているが、通話利用が原因の事故も一定数ある[3]。

これまでの多くの研究では[4-10]、運転中に携帯電話での通話を行うことで、自動車の制御や危険場面への反応などの種々のパフォーマンスの低下につながり危険であることが指摘されている。これらの研究を見ると[4-10]、必ずしも片手運転が問題となるわけではなく、運転中に別の作業をすることでドライバの知覚・認知負担が増加し、運転作業に割り当てられる注意資源が減り、注意散漫になってしまうことが本質的な問題であると考えられる。実際に、Strayerら[11]の研究では、携帯電話を手を持って通話した場合とハンズフリー機能を使用して通話した場合とでは、二重課題（主作業：ジョイスティックによるカーソル追従課題、副次作業：別の特定の刺激へ反応してボタン押下する課題）時の副次作業のパフォーマンス（反応のミス率、反応時間）の低下度合いには見られていない。ハンズフリーであるか否かということよ

りも、携帯電話での通話そのものがパフォーマンス低下の原因であると考えられる。またHyman Jrら[12]やSchollら[13]は、携帯電話による通話中は予期しない刺激が突然現れた場合にその刺激に気が付きにくいことを報告しており、携帯電話の通話に注意を向けている状況では他の事柄へ注意が払われにくいと考えられる。運転中の携帯電話での通話に関する法規制は国や地域によって異なるが、現状の我が国の道路交通法では、携帯電話を手を持って通話するケースは違反となるのに対し、ハンズフリー機能を使用して通話することを直ちに禁止するような条文はない。しかし前述の先行研究[4-13]の結果から考えると、ハンズフリー機能を使うことで安全上の問題が解決するとは言えない。

Wickensら[14, 15]のmultiple resource theoryによると、複数の作業を同時に実施する状況での作業パフォーマンスは、入力モダリティ（視覚、聴覚）、情報処理過程（知覚・認知、反応）、情報処理コード（空間、言語）、出力様式（手動、口頭）のどの側面でのどの程度共通の処理資源の競合があるかによって決まると言われている。このことから考えると、運転中の会話は（1）携帯電話を手を持って通話、（2）ハンズフリー機能による通話、（3）同乗者との会話のいずれの方法で行ってもmultiple resource theoryの観点からは同質の課題であると言える。つまり携帯電話の使用有無に関わらず、会話そのものが自動車の制御や危険場面への反応などの種々のパフォーマンスの低下につながる危険性があると考えられる。

その一方で、同乗者との会話の場合は、同乗者が会話をやめたり注意をしたりするので問題が少ないという主張もある[16]。しかし、同乗者が常に周囲の交通状況に注意を払って会話しているとは限らないし、後部座席に乗車している場合もあり、同乗者との会話は安全であると言い切ることは難しい。

またDrewsら[17]は、同乗者との会話と携帯電話での通話の状況における運転パフォーマンス(ステアリング操作(車線中央からの偏差)、速度、車間距離についての指標)を比較している。この実験では、ドライバはいずれの会話条件においても「危ない思いをした過去の経験」について友人と自然な会話を行いながら運転作業を行った。その結果、携帯電話で通話をした条件の方が同乗者と会話した条件よりも、車線中央からの偏差の平均値や先行車との車間距離のばらつきが大きくなっており、携帯電話の条件において運転パフォーマンスが低下したことが示された。この原因として、同乗者との会話の場合は、前述のテーマの会話以外に交通状況についての会話が携帯電話で通話する場合よりも多く行われ、それによって周囲の状況認識が運転手と同乗者の間で共有されやすかったためではないかと考察されている。しかしこの実験条件では、携帯電話での通話条件と同乗者との会話条件の間で会話作業の内容が統制されていないため、同一条件での比較とは言い難く、同乗者が注意を払っていない状況での会話にどのようなリスクがあるかは十分に評価されていない。またこの研究では、急な危険への反応についてのパフォーマンスの評価は行われておらず、同乗者との会話が自動車運転の安全性へ与える影響を評価するためには、より詳細な検討が必要である。特に、前述のHyman Jrら[12]やSchollら[13]の研究結果を考えると、運転中に会話を行うことで、急な危険に気づかず事故につながる可能性が危惧される。これらの研究[12, 13]では携帯電話での通話を対象としていたが、multiple resource theoryの観点から考えると、携帯電話での通話と同乗者との会話に関わらず、会話そのものが危険場面への反応についてのパフォーマンスを低下させる原因であると推察される。以上のことから、運転中の会話が自動車運転の安全性へ与える影響を検討するにあたっては、携帯電話での通話と同乗者との会話の条件での会話作業内容を統制した上で、危険場面への対応についてのパフォーマンスを評価する必要があると考えられる。

ここまで述べたように、会話条件が異なっても会話に必要な注意資源が同等であれば、自動車運転時の危険場面への反応についてのパフォーマンスに与える影響は変わらない可能性がある。しかしこれまでの研究では、この点について検討は行われておらず、会話条件の違いが自動車運転時の安全性に与える影響は明確になっているとは言い難い。現行の我が国の道路交通法では、(1)携帯電話を手にとっての通話、(2)ハンズフリー機能による通話、(3)同乗者との会話、の会話条件の違いによって取り扱いは異なるが、いずれの会話条件においても同等の危険性があるならば、会話自体の危険性をドライバへ適切に周知させる必要がある。これらの会話が自動車運転に与える影響を正しく理解することは、自動車運転時の安全性向上のためには意義があると考えられる。

また会話そのものが運転に影響を及ぼすのならば、その内容についても検討の必要がある。Engströmら[18]や土井ら[19]は、運転中の副次作業によって与えられる認知的負荷の異なる状況では運転パフォーマンスが異なることを報告している。

会話内容が異なると、認知的負荷も異なると考えられるため、会話が運転作業へ与える影響を検討するにあたっては、会話内容についても考慮する必要がある。

以上のことから、本研究では自動車運転中の会話の影響を評価するための基礎的な研究として、会話の有無、会話方法(携帯電話での通話、同乗者との会話)、ステアリング操作に使う手(片手、両手)、会話難度(易、難)に着目し、運転中の会話が自動車操作と危険場面への対応に及ぼす影響を明らかにすることを試みた。この研究によって、携帯電話での通話だけでなく現行の我が国の法規制では違反とならない実験条件が自動車運転の安全性に与える影響を明確にすることで、運転中の会話の危険性についての具体的な周知・教育をドライバに行えることが期待される。

2. 実験方法

2.1 被験者

21～24才の男性10名を被験者とした。全員普通自動車運転免許を有し、視力に問題がない、または眼鏡・コンタクトレンズで矯正した者とした。被験者には実験目的・内容を十分に説明し、書面でのインフォームド・コンセントを得た。なお本研究は、岡山大学工学部機械システム系学科システム工学コースのヒトを対象とした研究に関する倫理審査の承認を得ている。

2.2 実験装置および実験環境 [19]

本実験では、ドライビングシミュレータを用いた。実験装置の配置は土井らの研究[19]を参考にし、本実験用に修正をした。概要を図1に示す。被験者は、自動車用シートに着座し、ゲーム用ステアリングコントローラ(Logicool, LPRC-14000)を用いて模擬運転作業を行った。ドライビングシミュレータは、Hot Soup Processor 3.4で開発され、デスクトップパソコン(OS: Windows 10 Pro 64bit, CPU: Intel Core i7-7700K 4.2GHz, GPU: NVIDIA GeForce GTX 1080 8GB GDDR5, Memory: 32GB DDR4 2400) 1台とプロジェクタ(EPSON, EB-S04) 3台を用いて被験者へ提示された。シミュレータのフロント画面は、プロジェクタを用いて被験者が着座するシートの前方に投影された。また後方画面は、プロジェクタを被験者の左右後方に投影し、対応する左右それぞれの自動車用サイドミラー(トヨタ, エスクァイア G423 SR1000/G308 SR 1000)を介して被験者に提示された。サイドミラーは、ミラー中央部において被験者からの視野角が左側: 59.3°, 右側: 38.2°の位置に設置した。プロジェクタの解像度はいずれも1024×768 pxとした。

運転中の会話の実施にあたって、携帯電話で通話する条件においては各被験者が所持しているスマートフォンを使用し、別の部屋にいる実験者と通話した。両手で運転をする条件では、ステアリング横にスマートフォンを置き、スピーカーフォンの機能によって通話を行った。また同乗者と会話する条件においては、図1に示すPassengerの位置に実験者が着座した。

携帯電話による通話および同乗者との会話が自動車運転に及ぼす影響

図1 実験装置の配置 [19]

2.3 実験課題

以下に示す三重課題を実施した。

- (1) 主作業：模擬運転作業 模擬運転作業で提示したシミュレータのフロント画面を図2に示す。走行コースは、3車線の直線道路とした。矢印は操作対象、道路の真ん中に描かれた中心線をターゲットラインとした。被験者は、操作対象（自車）の矢印の頂点をターゲットラインにできるだけ正確に合わせつつ、適正な速度（75 km/h～85 km/h）を保って走行するようにステアリングとペダルを操作した。自車の速度はフロント画面右下に表示した。
- (2) 副次作業1：会話作業 実験者が被験者に口頭で質問を行い、それに対して口頭で回答することを求めた。会話作業は実験課題実施中に絶え間なく実施された。会話内容については会話難度に着目し、易、難の2水準を設けた。易条件の会話では、例えば「あなたは一人暮らしですか？」や「あなたの血液型は何型ですか？」などのように択一的に回答可能な質問に対して回答を求めた。難条件の会話では、例えば「あなたにとって家族とはどういった存在ですか？」や「何をしているときが一番幸せですか？」などのように被験者の考えを自由に述べるができる質問に対して回答を求めた。また難条件の回答に対しては、「それはなぜですか？」などのように被験者の回答内容を深堀りする質問も行った。本作業ではあくまで会話作業のみを対象としたため、通話に付随して発生するスマートフォンの発着信操作は試行開始前に行った。
- (3) 副次作業2：危険判断作業 走行中に不定期に提示される危険場面に対して反応する作業を課した。本実験では危険場面として、中央車線の自車前方を一定の車間距離（65 m）を保って走行している先行車が急停止する状況を提示した。被験者には下記のような操作を行い、先行者との衝突を回避することを求めた。先行車は通常、中央車線の自車前方を一定の車間距離（65 m）を保ちつつ走行しているが、課題実施中に不定期に急ブレーキを踏み、

図2 ドライビングシミュレータ画面（フロント）

急停止する。先行車がブレーキを踏むと、ブレーキランプの代用として赤色の四角枠を画面中央に表示した（図2）。このとき、左右後方の状況をサイドミラーによって確認し、後続車と十分に距離があり、安全に車線変更ができる左右いずれかの車線へ移動するようにステアリング操作を行う（図3）。また左右いずれの後方車も自車に近く、安全な車線変更ができない場合は、ブレーキペダルを踏み込み減速する（図4）。このとき、先行車への衝突および車線変更の誤りをミスとした。危険場面は1回の試行（10分間）で合計15回提示し、車線変更する状況を左右それぞれ5回ずつ、ブレーキペダルを踏む状況を5回提示した。

2.4 実験要因および実験条件

実験要因は、会話の有無（あり、なしの2水準）、会話方法（携帯電話での通話、同乗者との会話の2水準）、ステアリング操作に使う手（片手、両手の2水準）、会話難度（易、難の2水準）とし、いずれも被験者内要因とした。会話ありの条件は、会話方法、ステアリング操作に使う手、会話難度の3要因の組み合わせによる8条件、会話なしの条件はステアリング操作に使う手の要因の2条件から成り、これらの合計10条件に対して、実験を実施した。

Left side mirror

Right side mirror

図3 サイドミラーへの提示画面
(右車線へ車線変更するケース)

Left side mirror

Right side mirror

図4 サイドミラーへの提示画面
(ブレーキペダルを押下するケース)

ステアリング操作を片手で行う条件では、被験者がステアリング操作しやすい方の手でステアリングを操作してもらい、もう一方の手で携帯電話を保持してもらった。携帯電話を用いない条件では、携帯電話を用いる条件とはほぼ同じ条件を作り出すために、水が半分入った500 mlのペットボトルを保持してもらった。またステアリングを把持する位置については、片手、両手いずれの条件においても、被験者が運転しやすい位置を把持してもらった。

また会話の内容によって会話作業に必要な注意リソースが異なると考え、2水準(易, 難)の会話難度について実験を行った。これまでの関連研究[11, 20]では、運転中の会話作業の会話難度に複数の水準を設ける場合、現実の運転状況においては想定しづらい作業を課していることが多かった。例えばStrayerらの実験[11]では、実験者が順番に発する単語をそのまま繰り返し発声する作業(shadowing task)と実験者が発する単語と別の単語を発声する作業(word generation task)の2種類を実施している(実験者が“molar”と言った場合、前者ではそのまま“molar”と言い、後者では“robot”などの別の単語を言うことが求められる)。また内田らの実験では[20]、作業負荷の異なる2種類の会話作業として、自宅から勤務先までなどの身近な通行経路を実験者に説明する作業と「1~100」までの数字もしくは50音の「あ」行を自分のペースで繰り返し発声する作業を実施している。これらの会話作業は難度に明確な違いを持たせるという観点からは適当な作業であると考えられるが、実際の運転中に行われる会話とは大きく異なるため会話作業としては適切でないと考えた。

そこで本研究では、インタビュー調査などで用いられるクローズドクエスチョンとオープンクエスチョンという質問方法を用いた会話作業を行った。易条件ではクローズドクエスチョン(「はい、いいえ」のように択一で回答可能な回答範囲が制限された質問)や単純な過去の事実を聞く質問(例えば、通っていた小学校の名前など)を行った。一般的

図5 予備実験における会話難度ごとのWWL
(エラーバーは標準偏差を示す。)

にクローズドクエスチョンは、回答範囲が限定されており一言で回答可能なので、誰でも回答しやすいと言われており、易条件として適していると考えた。難条件ではオープンクエスチョン(「どう考えているか?」などのように制約なく自由回答可能で議論の余地がある質問)を行った。オープンクエスチョンの場合には、可能な限り被験者の回答内容に応じて質問を深掘りした。オープンクエスチョンは回答が制限されておらず、自分の考えをまとめて発話内容を自分なりに考える必要があるため、クローズドクエスチョンに比べて認知的負荷の高い作業であると考えた。

これらの会話難度の違いによってドライバの作業負担が異なることを確認するために予備実験を行った(n=3)。予備実験では、前述の10条件に対して、主作業(模擬運転作業)、副次作業1(会話作業)、副次作業2(危険判断作業)を同時に実施し、日本語版NASA-TLX[21, 22]によってメンタルワークロードを評価した。まずNASA-TLXにおける6つの尺度項目(精神的な要求、身体的な要求、時間切迫感、作業達成度、努力、不満)について、各条件の実験課題終了後にVAS(visual analog scale)によって評価し、0~100点に換算した。その後、全条件の実験課題終了後に6つの尺度項目について一対比較法による重みづけを行い、重み付け平均値WWL(weighted workload)を算出した。会話なし条件、易条件、難条件の平均値を図5に示す。会話なし条件、易条件、難条件の順にWWLが大きくなっていたことから、本実験で用意した会話内容は妥当であると判断した。

2.5 実験手順

まず自動車用シートに被験者を座らせ、運転作業を行いやすいようにシート位置を調節させた。同時に、サイドミラーに提示される後方画面が見えるように、サイドミラーの角度を調節させた。実験開始前には、実験内容を十分に説明し、各作業に関して実際に練習を行わせ、実験者が被験者の作業内容の理解度が十分であると判断した時点で実験を開始した。各条件における試行回数は1回とし、実施順序は被験者ごとにランダム化した。試行1回の時間は10分間とした。

携帯電話による通話および同乗者との会話が自動車運転に及ぼす影響

模擬運転作業については、できる限りターゲットラインからのズレを小さくし、適正速度を保つように指示した。会話作業については、質疑応答形式であることを説明し、聞かれた内容以外を答えないように指示した。危険判断作業では、できる限り正確かつ素早く反応するように指示した。また被験者の疲労による実施順序の影響を軽減するため、各試行間には十分な休憩時間を設けた。

2.6 評価指標

- (1) **トラッキング誤差** 自車(図2中の緑の矢印の頂点)とターゲットラインとの偏差を0.1秒ごとに記録し、この偏差の1試行中の絶対値の平均をトラッキング誤差とした。
- (2) **適正速度維持率** 1試行中で適正な速度であった時間の割合とした。
- (3) **車線変更開始までの時間** 試行中に提示される危険場面に対して左右への車線変更を行うべき状況において、先行車がブレーキを踏んでから(赤色の枠が表示されてから)自車が車線変更を開始(自車のヨー角の絶対値が1.5度以上になった時点)するまでの時間を計測し、これを正答した回数(ミスでない回数)で平均した時間とした。また一旦車線変更を開始したものの判断の迷いなどから途中でその操作を中断し、その後再開した場合(車線変更開始後にブレーキを踏んだり、一旦元の車線に戻ったりした場合など)は、最後に車線変更動作を開始した時点を用いて車線変更開始までの時間を算出した。
- (4) **ブレーキペダル押下までの時間** 試行中に提示される危険場面に対してブレーキを押下すべき状況において、先行車がブレーキを踏んでから(赤色の枠が表示されてから)自車が急減速を開始(ブレーキペダルを80%以上踏み込んだ時点)するまでの時間を計測し、これを正答した回数(後述のミスでない回数)で平均した時間とした。
- (5) **ミス率** 先行車への衝突および車線変更方向の誤りをミスとし、全15回の危険場面(左右の車線変更が各5回、ブレーキ押下が5回)のうちミスをした割合とした。最初に一旦誤った操作を開始した場合(ブレーキを踏むべき場面でハンドルを切り始めた場合など)でも、先行車への衝突がなく、誤った車線へ入り込んでおらず、その後正しい操作を行った場合にはミスとはしなかった。
- (6) **主観評価(運転作業への集中度合)** 注意散漫にならずに模擬運転作業に集中できたかについて、「1:集中できなかった」から「5:集中できた」の5段階で評価を行った。主観評価の評定は各試行が終了するたびに、直前に実施した1条件に対して実施した。

2.7 統計処理

模擬運転作業のパフォーマンス(トラッキング誤差、適正速度維持率)および危険判断作業のパフォーマンス(車線変

更開始までの時間、ブレーキペダル押下までの時間、ミス率)については、実験条件間の違いを評価するため反復測定三元配置分散分析(会話方法(携帯電話、同乗者の2水準)×ステアリング操作に使う手(片手、両手の2水準)×会話難度(易、難の2水準))を行った。また会話なし条件と他の条件との比較のために、片手、両手それぞれの場合において各会話条件(会話方法(携帯電話、同乗者の2水準)×会話難度(易、難の2水準)の4条件)と会話なし条件の対応あり t 検定(両側検定)を行った。ミス率については、会話なし条件では全被験者のミス率が0%であったため、 t 検定は行っていない。主観評価については、ノンパラメトリック検定としてFriedman検定および事後検定としてSheffeによる多重比較を実施した。なお、上記いずれの分析においても危険率5%未満で有意とした。

3. 結果

3.1 トラッキング誤差

各条件のトラッキング誤差の平均値を図6に示す。三元配置分散分析(会話方法×ステアリング操作に使う手×会話難度)を行ったところ、ステアリング操作に使う手の主効果のみ有意であり($F(1,9)=15.85, p<0.01$)、両手を使う条件の方が有意に小さいトラッキング誤差であった。なお、交互作用は見られなかった。また会話なし条件とその他の各条件との比較のために、対応あり t 検定を実施したところ、いずれの条件も会話なし条件との間に有意差は認められなかった。

3.2 適正速度維持率

各条件の適正速度維持率の平均値を図7に示す。三元配置分散分析(会話方法×ステアリング操作に使う手×会話難度)を行ったところ、いずれの主効果も交互作用も有意ではなかった。また会話なし条件とその他の各条件との比較のための、対応あり t 検定結果を表1に示す。片手、両手いずれの条件においても、携帯電話での通話条件と会話なし条件の間に有意差が認められた。

図6 各条件のトラッキング誤差の平均値
(エラーバーは標準偏差を示す。)

図7 各条件の適正車間距離維持率の平均値
(エラーバーは標準偏差を示す.)

表1 適正車間距離維持率における会話なし条件と各会話条件との比較結果 (対応あり t 検定)

One handed		t -value
Easy conversation by a cell-phone	vs. No conversation	$t(9)=2.387^*$
Difficult conversation by a cell-phone	vs. No conversation	$t(9)=7.487^{**}$
Easy conversation with a passenger	vs. No conversation	$t(9)=2.056$
Difficult conversation with a passenger	vs. No conversation	$t(9)=1.688$
Two handed		t -value
Easy conversation by a cell-phone	vs. No conversation	$t(9)=2.423^*$
Difficult conversation by a cell-phone	vs. No conversation	$t(9)=3.054^*$
Easy conversation with a passenger	vs. No conversation	$t(9)=1.424$
Difficult conversation with a passenger	vs. No conversation	$t(9)=1.612$

** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$

図8 各条件のステアリング操作の反応時間の平均値
(エラーバーは標準偏差を示す.)

表2 車線変更開始までの時間における会話なし条件と各会話条件との比較結果 (対応あり t 検定)

One handed		t -value
Easy conversation by a cell-phone	vs. No conversation	$t(9)=1.414$
Difficult conversation by a cell-phone	vs. No conversation	$t(9)=4.793^{**}$
Easy conversation with a passenger	vs. No conversation	$t(9)=2.588^*$
Difficult conversation with a passenger	vs. No conversation	$t(9)=2.273^*$
Two handed		t -value
Easy conversation by a cell-phone	vs. No conversation	$t(9)=3.113^*$
Difficult conversation by a cell-phone	vs. No conversation	$t(9)=2.526^*$
Easy conversation with a passenger	vs. No conversation	$t(9)=3.589^{**}$
Difficult conversation with a passenger	vs. No conversation	$t(9)=2.028$

** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$

図9 各条件のブレーキペダル押下の反応時間の平均値
(エラーバーは標準偏差を示す.)

表3 ブレーキペダル押下までの時間における会話なし条件と各会話条件との比較結果 (対応あり t 検定)

One handed		t -value
Easy conversation by a cell-phone	vs. No conversation	$t(9)=1.510$
Difficult conversation by a cell-phone	vs. No conversation	$t(9)=1.943$
Easy conversation with a passenger	vs. No conversation	$t(9)=2.134$
Difficult conversation with a passenger	vs. No conversation	$t(9)=1.493$
Two handed		t -value
Easy conversation by a cell-phone	vs. No conversation	$t(9)=2.056$
Difficult conversation by a cell-phone	vs. No conversation	$t(9)=3.493^{**}$
Easy conversation with a passenger	vs. No conversation	$t(9)=2.643^*$
Difficult conversation with a passenger	vs. No conversation	$t(9)=3.167^*$

** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$

3.3 車線変更開始までの時間

各条件の車線変更開始までの時間の平均値を図8に示す。三元配置分散分析 (会話方法×ステアリング操作に使う手×会話難度) を行ったところ、いずれの主効果も交互作用も有意ではなかった。また会話なし条件とその他の各条件との比較のための、対応あり t 検定結果を表2に示す。ほとんどの条件において、会話なし条件と有意差があり、会話がある状況では反応時間が有意に長くなっていた。

3.4 ブレーキペダル押下までの時間

各条件のブレーキペダル押下までの時間の平均値を図9に示す。三元配置分散分析 (会話方法×ステアリング操作に使う手×会話難度) を行ったところ、いずれの主効果も交互作用も有意ではなかった。また会話なし条件とその他の各条件との比較のための、対応あり t 検定結果を表3に示す。片手の条件では会話なしの条件との有意差はなかったものの、両手の条件では多くの条件が会話なし条件と比較して反応時間が有意に長くなっていた。

3.5 ミス率

各条件のミス率の平均値を図10に示す。三元配置分散分析 (会話方法×ステアリング操作に使う手×会話難度) を行ったところ、いずれの主効果も交互作用も有意ではなかった。また会話なし条件は全被験者のミス率が0%であったため、 t 検定は行っていない。

携帯電話による通話および同乗者との会話が自動車運転に及ぼす影響

図10 各条件のミス率の平均値
(エラーバーは標準偏差を示す.)

図11 各条件の運転作業への集中度合の平均値
(エラーバーは標準偏差を示す。*は $p < 0.05$ を示す.)

3.6 主観評価 (運転作業への集中度合)

各条件の評点の平均値を図11に示す。Friedman検定の結果、条件間に有意差が認められたため ($\chi^2(9) = 19.72, p < 0.05$)、事後検定としてSheffeの多重比較を行った。多重比較結果は図11中に示す。会話難度が高い条件は同乗者、携帯電話に関わらず、両手での会話なし条件に比べて有意に集中度合が低かった。

4. 考察

4.1 模擬運転作業への影響

図6に示すトラッキング誤差は、三元配置分散分析においてステアリング操作に使う手の主効果のみが有意であった。このことから、両手の条件は片手の条件に比べてトラッキング誤差が小さくなると考えられる。また会話なし条件との比較のための t 検定においては、いずれの条件との間にも有意差は認められず、会話の有無はトラッキング誤差には影響を与えないことが示唆される。これらのことから会話の有無、方法 (携帯電話、同乗者)、難度に関わらず、両手でステアリング操作をすることでトラッキング誤差が小さくなり、安定したステアリング操作につながると考えられる。このことから、トラッキング誤差の観点からは、携帯電話を手を持って通話するよりもハンズフリー

機能を用いて通話し、両手でステアリング操作をした方が安全であるという一般的な知見が追認されたと言える。

図7に示す適正速度維持率は、三元配置分散分析においていずれの主効果も交互作用も有意でなかったことから、会話方法、ステアリング操作に使う手、会話難度の影響を受けないことが示唆される。また表1に示す会話なし条件との比較では、片手、両手いずれの条件においても携帯電話での通話条件とのみ有意差が認められたことから、携帯電話で通話をする条件では、会話なしの条件と比べ適正速度維持率が低くなっていたと考えられる。

また同乗者との会話の条件と携帯電話との通話の条件の適正速度維持率の同じ条件での平均値を比べると、前述の通り有意差はないものの約1.6%の差で、携帯電話での通話の条件の方が低い値となっていた。会話なし条件と比較すると携帯電話での通話の条件のみが有意に適正速度維持率が低いという t 検定の結果から相対的に考えると、同乗者との会話の条件の方が携帯電話での通話の条件よりも適正速度維持率に優れる可能性はあるが、その差は極僅かであり実際の運転操作において意味のある差であるかどうかは、より慎重な検討が必要である。また例えばDrewsら[19]は、同乗者は運転状況を把握したうえで会話するため携帯電話での通話よりもパフォーマンスが良い可能性があるとして述べている。同様の見解は他にもみられるが (例えば[18])、今回の実験では同乗者との会話において運転状況に関する話はしておらず、Drewsらの考察はあてはまらない。本実験の結果のみから同乗者と携帯電話の会話方法の違いが、適正速度維持率にどのような影響を与えているかを明確にすることは困難であるが、三元配置分散分析においていずれの主効果も交互作用も有意でないこと、会話方法の違いによる適正速度維持率の平均値の差が極僅かであることから、会話方法 (携帯電話、同乗者) は適正速度維持率に影響を与えないか、与えたとしてもその差はわずかなものであると考えられる。

以上の2つの模擬運転作業に関するパフォーマンス評価結果を見ると、会話方法や会話難度の影響はほとんどないと考えられる。ただし、トラッキング誤差については片手に比べて両手の条件の方が小さくなっており、両手を使ってステアリング操作をすることで、より安定したステアリング操作ができると考えられる。しかし、今回の実験における模擬運転作業は一定速度で同一車線を直進するのみであり、会話の有無によるパフォーマンスの違いもほとんどなかった。このことから、今回の実験における模擬運転作業自体が簡単な作業であったため、条件間の差が表れにくかった可能性もある。実際にStrayerら[11]は、複雑な走行コースでは副次作業の種類によって運転パフォーマンスの低下度合が異なる可能性を示しており、今後の研究では走行コースの種類についても検討の必要がある。

また本研究では、会話難度の違いはパフォーマンスに影響を与えると考えていたが、今回の実験では会話難度の違いによる模擬運転作業パフォーマンスの差は見られなかった。これについては、本研究で用いた2種類の会話作業の「運転

への集中を阻害する割合」に十分な違いがなかった可能性が考えられる。会話難度の違いがドライバに与える作業負担の違いについては、被験者3名による予備実験においてNASA-TLXのWWL得点に基づいて確認したが、被験者数が少なかったため統計的な有意差の検定はできていない。このWWL得点の差が、「運転への集中を阻害する割合」の差につながるほど十分でなかったと考えられる。少なくとも本実験で採用した会話作業の難易度の差であれば模擬運転作業のパフォーマンスに差はないと考えられるが、より難度が高く、会話に集中してしまうような作業内容であればパフォーマンスが低下し、会話難度の違いによる顕著なパフォーマンスの差が見られる可能性がある。

4.2 危険判断作業への影響

図8に示す車線変更開始までの時間は、三元配置分散分析においていずれの主効果、交互作用も有意でなく、実験条件の違いによる影響は受けないと考えられる。また表2に示す会話なし条件との比較では、会話なし条件が全条件の中で最も短い時間であり、ほとんどの条件において会話なし条件の方が有意に短い時間となっていた。以上のことから、会話がある場合は会話なし条件に比べて、会話の方法や難度の違いには関わらず危険場面に対するステアリング操作による反応が遅れると考えられる。

図9に示すブレーキペダル押下までの時間は、三元配置分散分析においていずれの主効果、交互作用も有意でなく、実験条件の違いによる影響は受けないと考えられる。また会話なし条件は全条件の中で最も時間が短く、表3に示す会話があった他の条件との比較では、会話方法、難度に関わらず両手の条件のみが会話なし条件と有意差が認められた。この結果を見ると、ステアリング操作を片手で行うか、両手で行うかの違いによって、会話なし条件と有意差が見られたかどうかの違いがあるが、三元配置分散分析ではいずれの主効果も交互作用も有意でなかった。また図9に示す各条件の平均値を見ると、片手条件の方が両手条件よりも時間が短かったのは携帯電話での易条件と同乗者での難条件の2条件のみであり、その差は最大で50 ms程度であった。これらことから、ステアリング操作を片手で行うか、両手で行うかという違いは、ブレーキペダル押下までの時間に影響しているわけではないと考えられる。以上より、会話がある場合は会話なし条件に比べて、ブレーキペダル押下までの時間が長くなる傾向にあるが、会話の方法や難度での明確な違いはないと考えられる。

図10に示すミス率は、三元配置分散分析においていずれの主効果、交互作用も有意でなく、実験条件の違いによる影響は受けないと考えられる。また会話なし条件では、ミス率は全被験者において0%であったことから、会話が発生するとその状況の違いには関わらず、ミス率は増加すると考えられる。今回の実験におけるミスの定義は、先行車または後続車への衝突事故の状況に相当するため、会話なし条件において0%であったのは妥当な結果であると考えられる。その一方で、会話が発生するといずれの条件も5%以下のミス率では

あるが事故が発生しており、会話の方法や内容には関わらず会話自体が自動車運転中の危険場面の検出に悪影響を及ぼしており、事故リスクの増加につながっていると考えられる。

以上の3つの危険判断作業に関するパフォーマンスの評価結果を見ると、いずれの指標においても会話なしの条件が最も優れていた。また会話を行った条件では、いずれの指標においても会話なし条件に比べると、パフォーマンスの低下が示唆されたが、会話方法(携帯電話, 同乗者)と会話難度(易, 難)の違いによる差異は見られなかった。このことから自動車運転中の会話は、その方法や難度に関わらず急な危険場面に対する反応の遅れや対応ミスにつながると考えられる。

ただし、会話難度については前節で考察した通り、本研究で用いた2種類の会話作業の「運転への集中を阻害する割合」に十分な違いがなかったために、危険判断作業のパフォーマンスに違いが見られなかった可能性が考えられる。より難度が高く、会話に集中してしまうような会話作業であれば、危険判断のミスや遅れにつながる可能性はある。

4.3 運転作業への集中度合への影響

図11に示す運転作業への集中度合の評点は、会話なし条件が他の条件よりも高かった。その一方で、会話難度が高い条件では、同乗者、携帯電話のいずれの条件も集中度合が低下しており、会話なし条件の両手操作時に比べて有意に集中度合が低下していた。また会話方法(携帯電話, 同乗者)の違いでは集中度合に有意差は見られていないことから、会話方法はドライバの集中度合には影響を与えておらず、会話そのものがドライバの集中度合を低下させる原因であると考えられる。

4.4 総合評価

模擬運転作業のパフォーマンス、危険判断作業のパフォーマンス、主観評価の3つの観点から、自動車運転中の会話作業の影響について総合的に評価する。我が国の現行の法規制において、今回の実験条件の中で違反となるのは携帯電話を手にとって通話する条件のみであるが[2]、模擬運転作業と危険判断作業のいずれの指標においても会話方法(携帯電話, 同乗者)と会話難度(易, 難)についての有意な主効果や交互作用は見られなかった。このことから、会話の方法や難度が変わったとしても運転中の会話という副次作業の影響は同程度であると考えられる。また主観評価については、会話方法・難度の違いでは運転への集中度合に有意差はなかったものの、会話難度が高い条件のみが会話なし条件よりも運転作業への集中度合が有意に低下していたことから、会話難度の高い条件の方が会話難度の低い条件よりも集中度合がやや低下していた可能性がある。今回の実験条件下では、この主観的な集中度合の違いはその他の客観的な作業成績に現れていない。しかし会話難度が高い状況ではドライバの集中度合は低下していると考えられるため、作業環境がより複雑になり(例えばより複雑な走行状況など)、他の作業の負荷が増加した場合には会話難度の違いが他の客観的指標に影響を与える可能性はある。この点については、今後の詳細な検討が必要である。

携帯電話による通話および同乗者との会話が自動車運転に及ぼす影響

ただし会話難度については、すでに4.1節および4.2節で述べたように本実験で用いた2種類の会話作業では、パフォーマンスの差が生じるための十分な難易度の違いがなかったことには留意する必要がある。

危険判断作業への影響について見ると、ハンズフリー機能による通話や同乗者との会話についても危険場面への対応についての各指標で有意差がなく、どの会話方法・難度も同程度の悪影響を及ぼす恐れがあると考えられる。しかし一方では、運転中の同乗者との会話はドライバの覚醒維持に有効であるという見解もある[23]。このように運転中の会話については利点・欠点があるので一概には言えないが、少なくとも本研究で示したような急な危険場面への対処という観点では、危険場面へ反応の遅れや見逃しにつながると考えられることから、たとえ道路交通法で違反とはならない会話方法であったとしても、運転中の会話はできる限り行わない方が良いと考えられる。

またステアリング操作の手（片手、両手）については、模擬運転作業に影響を及ぼすと考えられる。両手の条件のトラッキング誤差は、片手の条件に比べて小さく、両手でステアリングを保持した方が安定したステアリング操作ができていた。このことから、ハンズフリー機能を用いた通話であっても両手を使ってステアリング操作をすることで、ステアリング操作の安定性の観点からは安全性の向上につながると考えられる。また会話のない条件においても同様の傾向が見られたため、会話の有無に関わらず片手でのステアリング操作は両手での操作に比べて車両の横方向の安定性に欠けると考えられる。

最後に、本実験から得られた知見の応用の可能性について述べる。まず、法規制の整備に際して本研究結果を参照することで、科学的な裏付けがあり、誰もが納得しやすい法規の作成に寄与することができる。同乗者との会話を携帯電話での通話と同様に禁止することは現実的には難しいが、携帯電話での通話以外の会話方法についても何らかの制限を設けることなどが考えられる。また本研究結果を踏まえて、運転免許の取得・更新時などにおけるドライバへの教育内容を検討することで、ドライバが自動車運転中の会話はどのような条件であっても携帯電話での通話と同様のリスクがあるということを適切に理解することができるようにとなると考えられる。以上のような観点から、本研究結果は自動車の安全性向上に貢献することが期待される。

5. 今後の課題

本研究では会話の実施方法の違いに着目して、会話が自動車運転に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、模擬運転作業は高速道路走行を想定した作業（一定速度で同一車線を直進するという作業）のみに固定した。しかし実際の走行環境を考えると、山道や市街地などドライバにかかる負荷の異なる様々な状況が想定される。またすでに述べたように、Strayerら[11]の研究によると、複雑な走行コースでは副次

作業の種類によって運転パフォーマンスの低下度合が異なる可能性が報告されている。これらのことから、今後の研究では走行環境の影響についても合わせて検討する必要がある。

また本研究では、会話難度の違いはパフォーマンスに影響を与えると考えたため実験要因の一つとしたが、今回の実験での会話作業の難易度の差では、模擬運転作業、危険判断作業のいずれのパフォーマンスにも差は見られなかった。これについてはすでに述べた通り、難条件の会話作業であっても運転への集中を阻害するような会話になっておらず、会話難度の設定が適切でなかったと考えられる。今後、より会話に集中し、運転が疎かになってしまうような会話作業を設定することで、会話難度についてのより詳細な知見を得ることができると考えられる。

また本研究で明らかになった知見をもとに自動車の安全性向上を図るためには、ドライバへの教育や法規制の整備によって会話を制限するという方策だけでなく、運転中にどのような条件で会話を行ったとしても安全性を低下させない運転支援技術を開発するという方策も考えられる。例えば、車内の会話や携帯電話の通話状況からドライバの注意力低下を察知し、警報提示を行うシステムなどが想定できる。今後の研究では、こうした運転支援技術についても検討の余地がある。

6. 結 論

本研究では自動車運転中の会話の影響を評価するための基礎的な研究として、会話の有無、会話方法（携帯電話での通話、同乗者との会話）、ステアリング操作に使う手（片手、両手）、会話難度（易、難）を実験要因として、模擬運転作業のパフォーマンス（トラッキング誤差、適正速度維持率）、危険判断作業のパフォーマンス（車線変更開始までの時間、ブレーキペダル押下までの時間、ミス率）および主観評価（運転作業への集中度合）を評価した。各指標を各条件間で比較した結果、以下の知見が得られた。

- (1) 会話の有無、会話方法、会話難度に関わらず、両手でのステアリング操作は、片手でのステアリング操作に比べて、トラッキング誤差が小さく、安定したステアリング操作を行うことができると考えられる。
- (2) 自動車運転中の会話は、会話方法や会話難度に関わらず急な危険場面に対するステアリング操作やブレーキペダル押下の反応の遅れや対応ミスにつながると考えられる。
- (3) 会話難度が高い場合の方が、ドライバの集中度合は低下する傾向にあるが、同乗者との会話か携帯電話での通話かはドライバの集中度合には影響を与えておらず、会話そのものがドライバの集中度合を低下させる原因であると考えられる。

謝 辞

実験の実施およびデータ整理にご協力いただいた岡山大学工学部機械システム系学科の青田悠希氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- [1] 総務省：情報通信白書平成30年度版,
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/htht/nd252110.html> (2019.05.14 閲覧).
- [2] 道路交通法 第七十一条.
- [3] 内閣府：運転中の携帯電話使用対策について（運転中の「ながらスマホ」対策を含む），平成29年度交通事故の状況及び交通安全施策の現況,
https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/h30kou_haku/pdf/zenbze/t14.pdf (2019.05.14 閲覧).
- [4] Collet, C., Guillot, A., and Petit, C.: Phoning while driving I: a review of epidemiological, psychological, behavioural and physiological studies, *Ergonomics*, 53(5), pp.589-601, 2010.
- [5] Hancock, P. A., Lesch, M., and Simmons, L.: The distraction effects of phone use during a crucial driving maneuver, *Accident Analysis and Prevention*, 35(4), pp.501-514, 2003.
- [6] Redelmeier, D. A., and Tibshirani, R. J.: Association between cellular-telephone calls and motor vehicle collisions, *The New England Journal of Medicine*, 336(7), pp.453-458, 1997.
- [7] Strayer, D. L., Drews, F. A., and Johnston, W. A.: Cell phone-induced failures of visual attention during simulated driving, *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 9(1), pp.23-32, 2003.
- [8] Levy, J., Pashler, H., and Boer, E.: Central interference in driving: Is there any stopping the psychological refractory period?, *Psychological Science*, 17(3), pp.228-235, 2006.
- [9] Wogalter, M. S., and Mayhorn, C. B.: Perceptions of driver distraction by cellular phone users and nonusers, *Human Factors*, 47(2), pp.455-467, 2005.
- [10] Brookhuis, K. A., De Vries, G., and De Waard, D.: The effects of mobile telephoning on driving performance, *Accident Analysis and Prevention*, 23(4), pp.309-316, 1991.
- [11] Strayer, D. L., and Johnston, W.: Driven to distraction: Dual-task studies of simulated driving and conversing on a cellular telephone, *Psychological Science*, 12(6), pp.462-466, 2001.
- [12] Hyman Jr, I. E., Matthew Boss, S., Wise, B. M., McKenzie, K. E., and Caggiano, J. M.: Did you see the unicycling clown? Inattentive blindness while walking and talking on a cell phone, *Applied Cognitive Psychology*, 24(5), pp.597-607, 2010.
- [13] Scholl, B. J., Noles, N. S., Pasheva, V., and Sussman, R.: Talking on a cellular telephone dramatically increases 'sustained inattentive blindness' (Abstract), *Journal of Vision*, 3(9), p.156, 2003.
- [14] Wickens, C. D., Sandry, D. L., and Vidulich, M.: Compatibility and resource competition between modalities of input, central processing, and output, *Human Factors*, 25(2), pp.227-248, 1983.
- [15] Wickens, C. D.: Multiple resources and performance prediction, *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), pp.159-177, 2002.
- [16] 松尾太加志：コミュニケーションの心理学，ナカニシヤ出版，pp.81-82, 1999.
- [17] Drews, F. A., Pasupathi, M., and Strayer, D. L.: Passenger and cell phone conversation in simulated driving, *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 14(4), pp.392-400, 2008.
- [18] Engström, J., Johansson, E., and Östlund, J.: Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving, *Transportation Research Part F*, 8(2), pp.97-120, 2005.
- [19] 土井俊央，村田厚生：車載GUIの操作に関する知識がその操作と自動車運転に与える影響，日本感性工学会論文誌，17(2)，pp.233-241, 2018.
- [20] 内田信行，浅野陽一，植田俊彦，飯星明：携帯電話会話時における運転者の注意状態評価について，*IATSS Review*, 30(3)，pp.57-65, 2005.
- [21] 三宅晋司，神代雅晴：メンタルワークロードの主観的評価法－NASA-TLXとSWATの紹介および簡便法の提案－，*人間工学*, 29(6)，pp.399-408, 1993.
- [22] 芳賀繁，水上直樹：日本語版NASA-TLXによるメンタルワークロード測定－各種室内実験課題の困難度に対するワークロード得点の感度－，*人間工学*, 32(2)，pp.71-79, 1996.
- [23] 小林隆史，藤井達史，紀ノ定保礼，篠原一光，蜂須賀知理，柿崎勝：同乗者との会話によるドライバの覚醒維持とメンタルワークロードへの影響の検討，*自動車技術会論文集*, 48(2)，pp.457-462, 2017.

土井 俊央（正会員）

2010年3月 和歌山大学システム工学部デザイン情報学科卒業。
2012年3月 同大学院システム工学研究科システム工学専攻博士前期課程修了。同年4月，レノボ・ジャパン株式会社へ入社。
2015年3月 和歌山大学大学院システム工学研究科システム工学専攻博士後期課程修了。博士（工学）。2016年10月より岡山大学大学院自然科学研究科助教，現在に至る。認知人間工学，画面デザイン，ユーザ中心設計，自動車人間工学などの研究に従事。

村田 厚生（非会員）

1987年3月 大阪府立大学大学院工学研究科経営工学専攻博士課程修了。工学博士。産業医科大学産業生態科学研究所助手，福岡工業大学情報工学科助教授，広島市立大学情報科学部教授を経て，2006年4月より岡山大学大学院自然科学研究科産業創成工学専攻教授。この間，人間工学，生体情報処理，ヒューマン・エラー学，安全人間工学，自動車人間工学，ユニバーサル・デザインなどの研究に従事。現在，日本人間工学会理事（中国・四国支部長）。