

ドライビングシミュレータを用いた飲酒運転特性の基礎的検討

Evaluation of Driving Characteristics under the Influence of Alcohol based on Driving Simulator Experiment

丸山 喜久¹, 本多 克明², 山崎 文雄¹

Yoshihisa MARUYAMA¹, Katsuaki HONDA² and Fumio YAMAZAKI¹

¹ 千葉大学大学院 工学研究科 建築・都市科学専攻

Department of Urban Environment Systems, Chiba University

² 東武鉄道株式会社 (元 千葉大学 学生)

Tobu Railway Co., Ltd.

The number of traffic accidents associated with drunken-driving is reducing because the punishment for drunken-driving becomes heavier than before. However, the mortality rate due to drunken-driving is higher than any other cause of traffic accident. In this study, a series of driving simulator experiments were conducted to reveal the driving characteristics under the influence of alcohol. The reaction delay to signals, mistake rate of the reactions, driving performance under various circumstances and so forth were compared with respect to the alcoholic density in breath and the elapsed time after drinking.

Key Words : driving simulator, influence of alcohol, alcoholic density in breath, elapsed time after drinking

1. はじめに

近年、飲酒による交通事故は平成 12 年以降大きく減少しており、平成 17 年には平成 12 年の数値より約半分の件数になっている¹⁾。この背景には平成 14 年 6 月施行の改正道路交通法がある。酒酔い運転、酒気帯び運転、死亡事故など悪質・危険な違反の罰則が強化されたのが影響しているとされている²⁾。さらに平成 19 年に再び道路交通法が改正され、酒気帯び運転の罰則が「3 年以下の懲役又は 50 万円以下の罰金」、酒酔い運転が「5 年以下の懲役又は 100 万円以下の罰金」となっている³⁾。違反点数に関しては酒気帯び運転は呼気中アルコール濃度 0.15mg/l 以上で 6 点、0.25mg/l 以上で 13 点となった。酒酔い運転の違反点数は 25 点であり即座に免許取り消しとなる。一方で、飲酒運転による事故の死亡率は、飲酒なしの場合の 9.4 倍であり、とくに酒酔い運転に関しては 34.4 倍と高く、飲酒運転による交通事故が死亡事故につながる危険性の高いことを示している¹⁾。これは飲酒運転中のドライバーはブレーキを踏むタイミングが遅れる、視力が低下する、ハンドル操作ミスを起こしやすくなるなど、危機回避能力が極度に低下した状態であることが原因であると言われている⁴⁾。

科学警察研究所の交通安全研究室⁵⁾は、アルコールが運転操作等に与える影響をドライビングシミュレータを用いて評価している。被験者は、画面上に現れる 3 種類の合図に対してそれぞれに対応した 3 つの操作を行う。実験結果から、呼気中のアルコール濃度と反応時間の関係が検討されている。Strayer *et al.*⁶⁾ はドライビングシミュレータを用いた実験を行い、前方車のブレーキに対する反応に関して、ブレーキを踏み始めるタイミングと車間距離に着目して、飲酒による影響を検討している。その他、トヨタ自動車(株)⁷⁾では「飲酒ゴーグル」を使って飲酒運転を疑似体験する取り組みも行われている。

このように、飲酒運転時の運転特性の検討には、ドライビングシミュレータがしばしば用いられている。ドラ

イビングシミュレータは、実車を用いると危険が伴う実験を行うのに有用であり、複数の被験者に同一の走行条件を与えることができるため、被験者間の反応特性を比較するのに適している。また、近年では自動車教習所にもドライビングシミュレータが導入されるようになりつつある。飲酒運転の危険性を広く知らしめるには、自動車教習所のカリキュラムの中で教育プログラムを導入することが効果を示す⁸⁾ものと思われる。教習生には未成年者も多く、実際に飲酒をして飲酒運転の危険性を体験するのは困難である。そこで、運転操作に飲酒が与える影響を適切にモデル化し、ドライビングシミュレータ上で再現できるようにすることなどが一つの方法と思われる。例えば、飲酒によって生じる反応の時間遅れを適切にモデル化しドライビングシミュレータにその時間差を反映させることが考えられる。意図的に運転行動と車両の走行状況に時間差を生じさせることにより、飲酒による反応遅れがもたらす危険性を体験させることができよう。

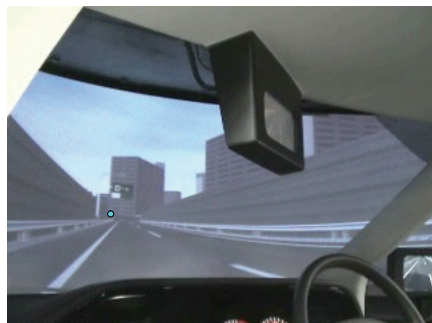
そこで、本研究では飲酒後の運転特性を把握する目的で、ドライビングシミュレータを用いた走行実験を行った。科学警察研究所⁵⁾は、飲酒なし、低濃度(目標呼気中アルコール濃度 0.10mg/l)、中濃度(0.20mg/l)、高濃度(0.25mg/l)の 4 条件のもとドライビングシミュレータを用いた走行実験を行っている。シミュレータ上には 3 種類の刺激が出現し、それらに対応した反応(表 1)を被験者はとることとしており、その反応時間を測定している。この結果を踏まえて、本研究では 2 種類の実験を行った。実験 A では、被験者は合図に対応する行動を取るものという条件下で、反応の時間遅れや動作の間違え率と呼気中アルコール濃度の関係を評価した。これは、科学警察研究所による先行研究⁵⁾の追実験という位置づけと、飲酒後の時間経過によって被験者が合図に対する反応に要する時間がどのように推移するかを明らかにすることを目的としている。実験 B では、運転中の状況判断に与える飲酒の影響を評価した。科学技術研究所の実験⁵⁾で行われている横方向からの歩行者の飛び出に加え

表 1 科学警察研究所が行った飲酒運転実験における刺激と対応する反応

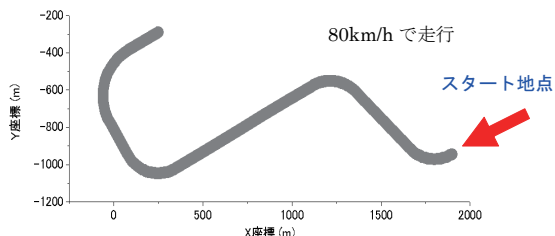
刺激	服の色	対応する反応
歩行者の飛び出し	黄	ブレーキを踏む
車道に接近する歩行者	赤	アクセルを離す
対向二輪車	赤	何もしない



(a) シミュレータ全景



(b) 走行中の様子 (実験 A)



(c) 走行コース

図 1 本研究で用いたドライビングシミュレータと走行コース

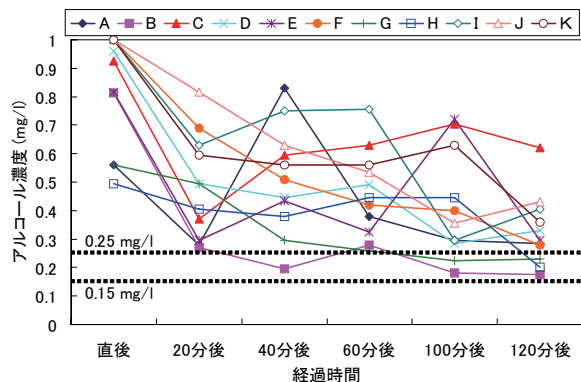


図 2 被験者の呼気中アルコール濃度の時間変化 (実験 A)

て、自車周辺の他車両の動きに対する状況判断の様子と飲酒との関係を検討することを目的としている。

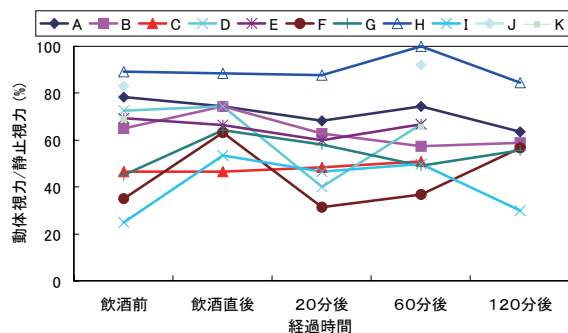


図 3 動体視力の時間変化 (実験 A)

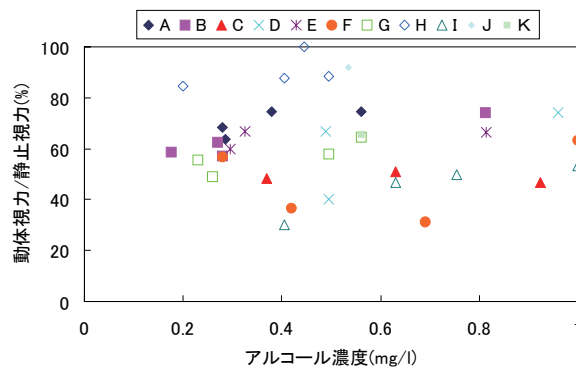


図 4 アルコール濃度と動体視力の関係 (実験 A)

2. 実験A：合図に対する運転行動に与える飲酒の影響

実験には、図 1 に示すドライビングシミュレータ⁹⁾を用いた。6 軸のサーボシリンダーにより、加速時やコーナリング時、ブレーキング時のクルマの動きがシミュレートされ、これにより、実車に近い運転感覚を作り出すことが可能となっている。

走行コース (図 1(c)) は首都高速道路などに代表される都市内高速道路を用いた。被験者は 11 名 (男性 9 名、女性 2 名) とし、飲酒前、アルコール度数 25% の焼酎 100ml を飲酒直後、飲酒 20 分後、40 分後、60 分後、120 分後の計 5 回走行実験を行った。なお、飲酒に要した時間は、個人差は多少あるが、30 分程度の被験者が多かった。実験では、前方画面に赤、青、黄の 3 種類の丸印を 10~15 秒間隔でランダムに 0.5 秒間表示させ、それぞれの合図に対応する行動をとるものとした。すなわち、赤が表示された場合にはウィンカーを下げる (右折時のウィンカー動作)、青が表示された場合 (図 2(b)) にはワイパーを動かす、黄の場合は何もしないこととした。また、画面内の合図の出現位置は右、中央、左の 3 箇所ランダムに表示させている。なお、実験時の指示車速は 80km/h としており、左側の車線を走行するものとした。

図 2 に、被験者の呼気中アルコール濃度の時間変化を示す。アルコール検知器は、0.00~1.00 mg/l の範囲を 0.01 mg/l 単位で測定可能なもの¹⁰⁾を使用した。また、図中には、酒気帯び運転で違反点数が 6 点となる基準値 0.15mg/l と 13 点となる 0.25mg/l のラインを併せて示している。飲酒後 120 分を経過しても、全ての被験者が酒気帯び運転となる 0.15mg/l 以上の呼気中アルコール濃度を示していた。飲酒後の経過時間が大きくなるにつれて呼気中アルコール濃度が減少しているが、その減少程度に

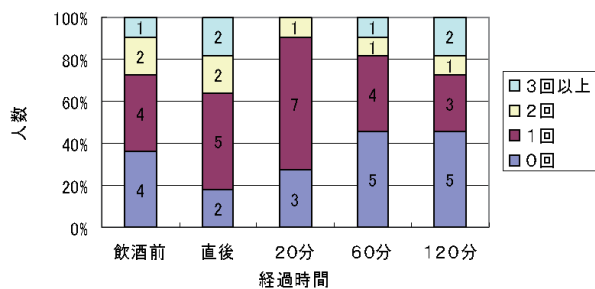


図5 飲酒後の経過時間ごとの動作間違いをした人数

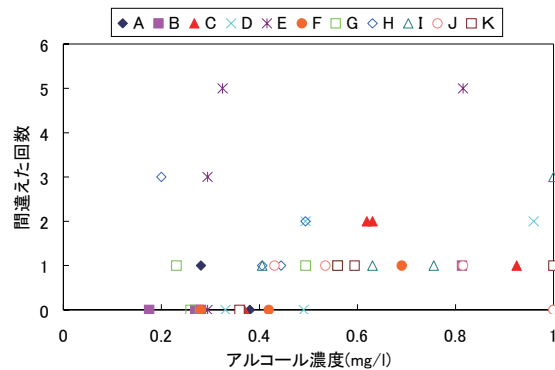


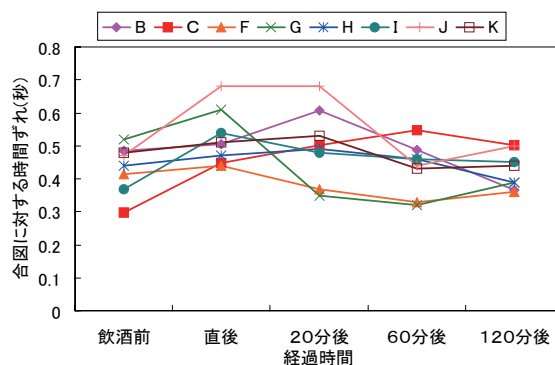
図6 アルコール濃度と動作間違い回数の関係

は個人差が大きく見られている。

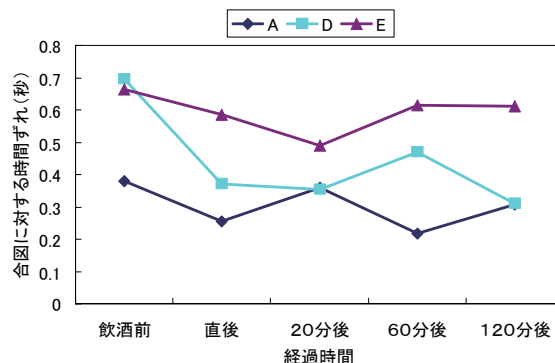
本実験では、走行実験開始前に動体視力を測定した。図3に、飲酒前に測定した静止視力と動体視力の比を示す。個人差がやや見られるが、飲酒の影響で視力が低下すると指摘されている⁵⁾ように、飲酒直後よりもアルコールが血中に吸収されるとされている飲酒20分の方が動体視力が低下している被験者が多い。その後、時間経過とともに動体視力が回復する傾向があるように見られる。図4に、アルコール濃度と動体視力の関係を示す。呼気中アルコール濃度と動体視力の低下率に関しては、それほど明確な関係はないように思われる。

実験Aにおいて、各被験者が合図に対する動作を間違えた数を集計した(図5)。ここで、動作間違いは、合図に対して予め指示された動作と異なる行動をとったとき、合図が出現していないにもかかわらず何らかの動作をとってしまったときの両方を合わせたものである。飲酒直後に動作間違いをしなかった被験者は2名だけである。その後、時間経過とともに動作間違いをしなかった被験者の数が増加している。これには、被験者の実験慣れの影響も含まれていることも考えられるが、体内のアルコール濃度が低下していることも理由の一つであると思われる。図6に、呼気中アルコール濃度と動作間違い回数の関係を示す。呼気中アルコール濃度が0.5mg/l以上のときは、少なくとも1回合図に対応する行動を間違えていることが分かる。

合図が画面上に出現してからそれに対応する行動をとるまでの時間差を各被験者ごとに測定し、平均反応時間として整理した(図7)。図7(a)は、飲酒の影響で平均反応時間が長くなっていると考えられる被験者8名の結果である。一部の被験者を除けば、飲酒直後または血中にアルコールが吸収される20分後の反応時間が長くなり、その後時間が経過するに従って反応時間が短くなっている。図7(b)のように飲酒の影響が少ないと思われる被験者も3名見られているが、図7(a)の結果と併せて考えると、全体としては飲酒の影響で合図に対する反応時間は



(a) 飲酒により反応時間が遅くなるタイプ



(b) 飲酒の影響が少ないタイプ

図7 飲酒後経過時間と平均反応時間の関係 (実験A)

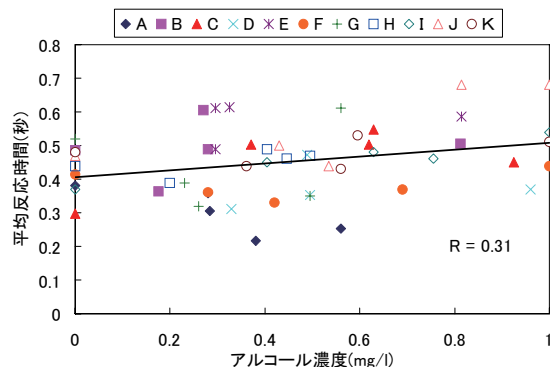
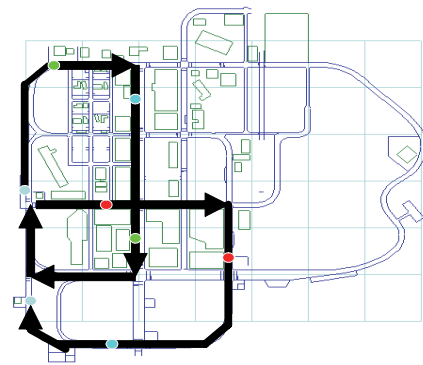


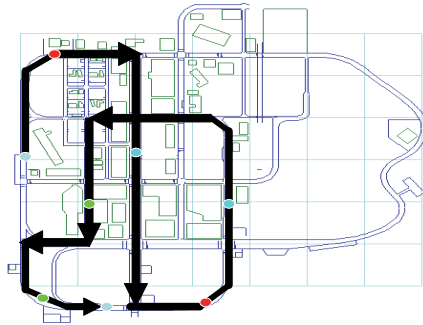
図8 アルコール濃度と平均反応時間の関係 (実験A)

長くなるものと考えられる。図8に、呼気中アルコール濃度と平均反応時間の関係を示す。図中には、実験結果から得られる回帰直線も併せて示している。相関係数は0.31と低いですが、大まかにはアルコール濃度が大きくなるにつれて平均反応時間が長くなる傾向を示している。これは、科学警察研究所による実験結果⁵⁾と同様の傾向である。

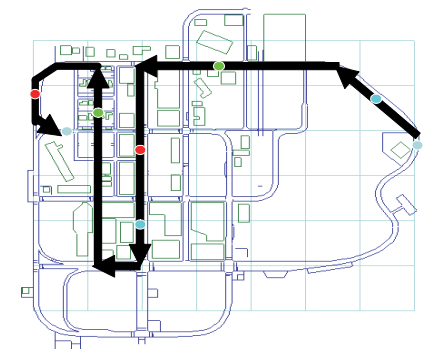
実験Aの結果をまとめると、平均反応時間の時間変化からはアルコールを摂取することで反応時間が長くなることが、11人中8名確認できた。また、呼気中アルコール濃度が高いと平均反応時間も長くなるという傾向も確認できた。個人差は見られるものの大半の被験者から反応時間の遅れを確認できたため、アルコールを摂取すると運転者の判断力を鈍らせる傾向にあるといえる結果が示された。



(a) コース 1



(b) コース 2



(c) コース 3

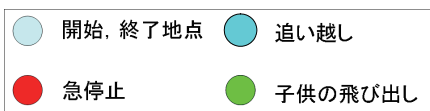


図 9 実験 B における走行コース

3. 実験 B : 運転中の状況判断に与える飲酒の影響

実験 A では、被験者の合図に対する反応特性について検討を行ったが、走行コースが高速道路の 1 通りであること、飲酒後の時間経過ごとの反応特性を調べるために各被験者に 5 回の走行実験を行っていること、被験者の動作は画面に表示される 3 種類だけの合図に対応する行動を取るのみであることなど、実験慣れの影響が含まれていることが懸念される。そこで、実験 B では実験内容をやや複雑にして、周囲の交通状況に対応する運転行動に与える飲酒の影響を検討することにした。

走行コースには実験 A と異なり、市街地コースを用いた。実験 B では、飲酒前、飲酒直後、飲酒 30 分後、60 分後の 4 回、各被験者が走行実験を行うので、走行コー



(a) 市街地の様子 (幹線道路)



(b) 子供と衝突事故の様子

図 10 実験 B における走行の様子

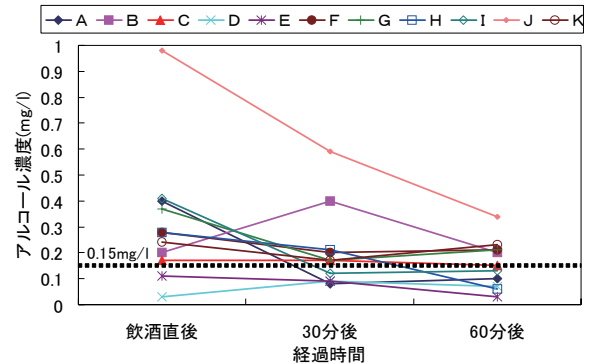


図 11 実験 B における被験者の呼気中アルコール濃度の時間変化

スを 3 通り作成した (図 9)。シミュレータの走行コースの切り替えなどに時間を要するため、実験 A と実験 B で実験開始の飲酒後経過時間が異なっている。飲酒前にはコース 2、飲酒直後はコース 1、30 分後にはコース 3、60 分後にはコース 2 を使用し、同一コースを続けて使用することによる実験慣れを避けるように工夫した。走行コースは予めドライビングシミュレータに設定しており、被験者はカーナビゲーションで行われるような音声による指示に従って走行をする。

走行コース中に 6 ヶ所の被験者による状況判断ポイントを設定した。追い越し地点では、自車の前方を走っている車が減速を始めるので、被験者はそれに対して追い越しを行い前方車を抜いていく必要がある。急停止地点では、前方を走っている車が突然停止するので、後方にいる被験者はそれにぶつからないよう対処するというものである。子供の飛び出し地点では、走行中に道路の脇から子供が飛び出してくるので被験者はそれをひかないように対応する。その他の地点でも、前方を走る車や対向車、子供を走行コース上に適宜配置し、被験者が 6 ヶ所の状況判断ポイントを予め認識しにくいようにしてい

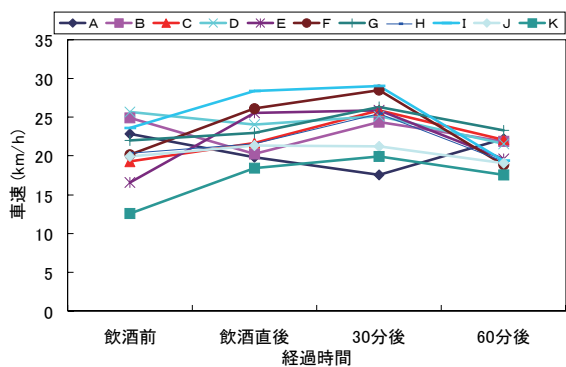


図 12 飲酒後経過時間と信号のある交差点の進入速度の関係

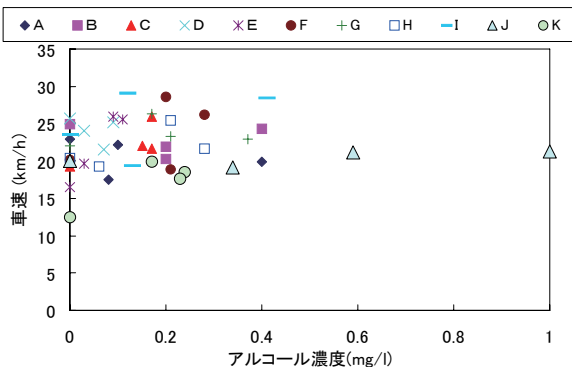


図 13 呼気中アルコール濃度と信号のある交差点の進入速度の関係

表 2 実験Bで発生した事故の回数

	飲酒前	飲酒直後	30分後	60分後
急停止	0	0	0	1
追い越し	0	2	0	0
子供の飛び出し	0	5	0	0

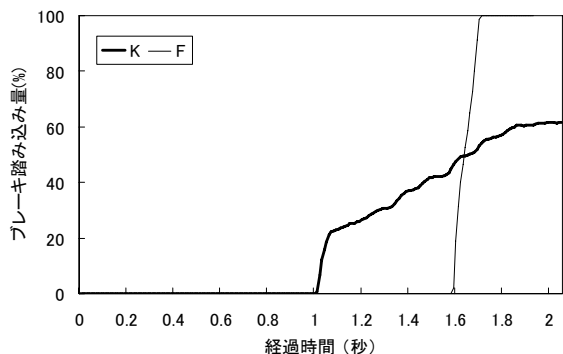


図 14 子供の飛び出しに対するブレーキ踏み込み量の比較 (実験 B)

る。なお、被験者の走行車速は各道路に標識などで設定されている制限速度とした。走行中の様子を図 10 に示す。

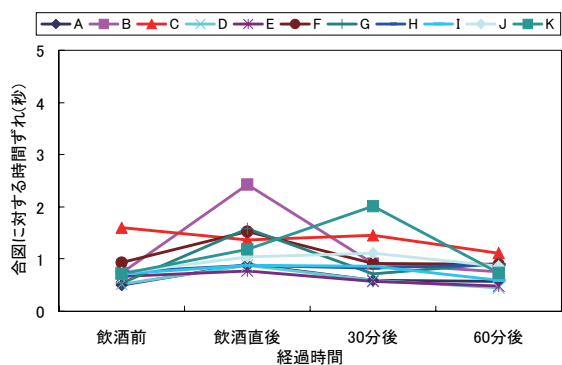
実験 B の被験者は全部で 11 名 (男性 7 名, 女性 4 名) であり, アルコール摂取量は体重 60kg 程度の被験者 (5 名) がアルコール度数 25% の焼酎を 150ml 摂取するのを基準として, 120ml が 1 名, 200ml が 5 名とした。図 11 に呼気中アルコール濃度の時間変化を示す。実験 A よりもアルコール量を多くしたが, 呼気中アルコール濃度は

全体的に低くなっている。被験者 D と E は, 飲酒直後から酒気帯び運転の基準値である 0.15mg/l を下回っている。藤田による実験結果¹¹⁾では, 呼気中アルコール濃度が 0.12~0.21mg/l で, 視覚刺激に対する反応時間が延び, 運転能力が低下するとされている。また, 科学警察研究所⁵⁾の実験でも, 酒気帯び運転の基準値以下である 0.10mg/l を低濃度, 0.20mg/l を中濃度として結果を整理していることを踏まえると, 図 11 程度の呼気中アルコール濃度でも飲酒が運転動作に与える影響があると考えられるし, 酒気帯び運転の基準値を下回っている被験者の結果に関しても, これを分析する価値はあるものと判断した。本研究の実験 B でアルコール濃度が実験 A よりも低めの値を示したのは, アルコールを摂取している時間が実験 A よりも平均的に長かったことが理由と考えられるが, これを結論づけるにはアルコールの摂取量, 摂取時間と呼気中アルコール濃度の関係を精査するなど詳細な検討が必要である。

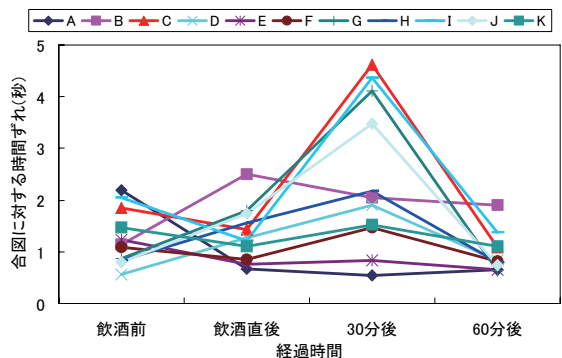
まず, 6ヶ所設定されている状況判断ポイント以外での走行の様子を分析した。図 12 に, 信号のある交差点を曲がる際の進入速度と飲酒後の経過時間の関係を示す。飲酒直後または 30 分後の進入車速が飲酒前と比べて小さくなっている被験者が多く, 飲酒 60 分後に飲酒前に近い値を示している。とくに被験者 E は飲酒前よりも 10km/h も速度が上昇している。図 13 に呼気中アルコール濃度と信号のある交差点を曲がる際の進入速度の関係を示す。実験 B の被験者の呼気中アルコール濃度は全体的に低い値を示しており, 図 13 から関係性を見つけるのは難しいが, アルコール濃度が 0.0~0.4mg/l の範囲に関しては, アルコール濃度が大きくなるにつれて進入速度が大きくなっている傾向が若干見られる。信号のない交差点を曲がる際の進入速度に関しても図 12, 図 13 と同様の傾向を示した。このように交差点への進入速度が上昇している被験者が多いことから, 飲酒の影響で加減速の程度が通常走行時よりも大きくなるのが推測される。

本実験で発生した事故の回数を表 2 に示す。飲酒前には事故は発生しなかったが, 飲酒直後に 7 回, 60 分後に 1 回発生している。状況判断ポイント別に事故の様子を述べる。急停止の際に起きた事故は飲酒 60 分後に 1 件起きた。これは被験者 G が起こしたもので, 急停止した車を無理やり追い越そうとして激突した。追い越し地点で起きた事故は飲酒直後に被験者 C, D が起こしている。被験者 C は追い越し後, 元の車線に戻った後に車間距離がまだ充分開いていないのにもかかわらず車速を著しく低下させてしまい, 追い越した車両に追突された。被験者 D は, 車両を追い越すときに対向車線から走行してきた車両と正面衝突をした。カーブの手前だったため対向車を確認するのが遅れたこと, 対向車との車両間隔を正確に判断できなかったことなどが事故の原因と考えられる。子供の飛び出しに対する事故は, 飲酒直後に 5 件発生している (被験者 B が 1 回, 被験者 F が 2 回, 被験者 H が 2 回)。いずれも子供の飛び出しに気付くのに遅れたのが原因と思われる。

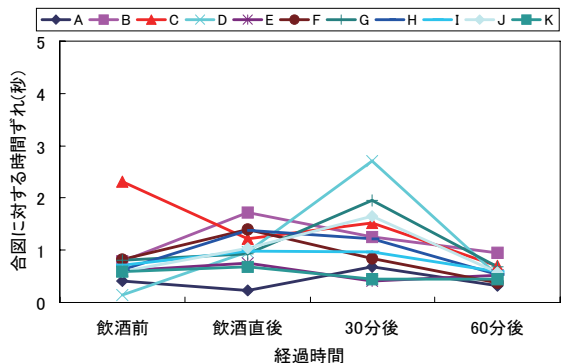
実験では被験者の車両走行の様子やその周辺の他車や子供などの動きをシミュレータの付加 PC で記録している。図 14 に, 被験者 F と被験者 K の子供の飛び出しに対するブレーキ踏み込み量を比較する。図中の時刻 0 は子供が左側から飛び出し始めたときの時間である。事故を起こした被験者 F は, 事故を起こさなかった被験者 K と比べて約 0.6 秒反応が遅れている。被験者 F は急ブレーキを踏んでいるが, 子供に激突してしまったことが分



(a) 急停止



(b) 追い越し



(c) 子供の飛び出し

図 15 実験 B における平均反応時間

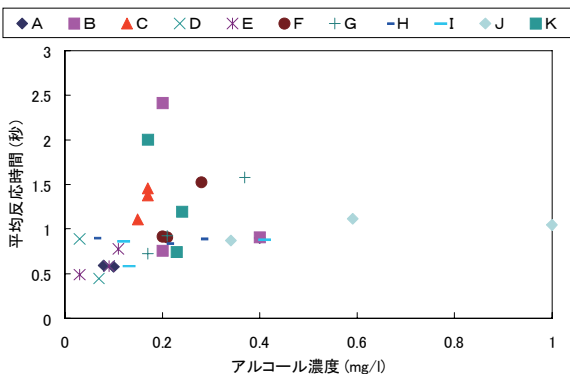


図 16 呼気中アルコール濃度と急停止に対する平均反応時間の関係

かる。

このように、ある状況変化に対する動作の反応時間の大小は致命的な交通事故との因果関係があるものと思われる。そこで、状況変化に対する反応（ブレーキを踏ん

だり、車両を追い越し始めること)の時間遅れを図 15 のように整理した。図 15(a)は、急停止した前方車両に対する平均反応時間である。飲酒前の平均反応時間は 0.5 秒～1.0 秒を示した被験者が多い。平均反応時間が飲酒前の値より飲酒後に減少している被験者は 5 名である。その他の 6 名は飲酒前と同じコースを走った 60 分後も含めて、飲酒前よりも平均反応時間が上昇している。

図 15(b)は、車両を追い越す際の平均反応時間である。飲酒前の反応時間よりも飲酒直後、飲酒 30 分後に大きな反応時間を示す被験者が多い。図 15(a)や(c)と比べて、大きな反応時間となっているが、追い越そうとする車両との車間距離が開いている場合に、前方車の車両速度の視認がやや難しかったことも原因と考えられる。図 15(c)は、子供の飛び出しに対する平均反応時間である。前方車が急停止した場合の反応時間と同様の傾向を示している。

Strayer *et al.*⁶⁾ は、血中アルコール濃度 0.08%の状態では飲酒運転を行うと、ブレーキペダルを踏み込む力が増加したり、車間距離が通常よりも狭くなるなど攻撃的な運転をするようになるとしている。科学警察研究所による実験結果⁵⁾では、呼気中のアルコール濃度が大きくなると反応時間が長くなる傾向が示されている。また、飲酒により反応時間が長くなる程度は複雑な状況判断を伴うときほど、顕著となるとされている。本実験の呼気中アルコール濃度と平均反応時間の関係(図 16)でもそのような傾向は見られ、さらに図 8 と図 16 を比べても複雑な状況判断を伴う方がその程度は大きいように思われるなど同様の結果が得られた。

4. 結論

本研究では飲酒後の運転特性を把握する目的で、ドライビングシミュレータを用いた走行実験を 2 種類行った。反応の時間遅れや動作の間違え率と呼気中アルコール濃度の関係、運転中の状況判断に与える飲酒の影響を評価することを目的とした。

実験 A の結果によると、飲酒によって合図に対する誤認識が複数発生し、呼気中アルコール濃度の上昇とともに反応に要する時間が長くなることがわかった。車の運転においては、周囲の情報を素早く正しく判断することが重要になってくるため、アルコールは車の運転に悪影響を与えるという結果になった。

市街地コースを用いた実験 B の結果からは、事故の発生件数は少数ではあったが、アルコールの影響で周囲の状況判断を怠り、事故を起こした例が確認できた。とくに周囲の交通状況と自分との位置関係を正しく理解できない傾向があった。また、アルコール濃度と平均反応速度、交差点を曲がる際の進入車速との関係よりアルコールの影響とみられる判断能力の低下が確認できた。

本研究で示されたことは現状ではやや定性的な部分も残るので、被験者を増やして走行実験を行うなど更なる検討を要する。また、実験 B の呼気中アルコール濃度が期待しているよりも低い値を示したのは、飲酒に要した時間が関係するものと考えられるのでアルコール摂取量と呼気中アルコール濃度の関係を精査する必要がある。体内のアルコール残量を正確に知るには、呼気中アルコール濃度よりも血中アルコール濃度の方が適しているので、これを測定することが望ましいと思われる。

謝辞

本実験では、本田技研工業株式会社・安全運転普及本部より多大なご協力を頂いた。記して、謝意を表する。

参考文献

- 1) 警察庁：平成 19 年中の交通事故の発生状況, 2008.
- 2) 白石洋一, 萩田賢司：飲酒運転に関する道路交通法の改正の効果, 国際交通安全学会誌, Vol. 31, No. 2, pp. 105-112, 2006.
- 3) 法令データ提供システム 道路交通法：<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S35/S35HO105.html>
- 4) 警視庁：<http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/kotu/insyu/insyu1.htm>
- 5) 科学警察研究所交通安全研究室：低濃度のアルコールが運転操作等に与える影響に関する調査研究, <http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/kotu/insyu/image/kenkyu.pdf>
- 6) D.L. Strayer, F.A. Drews, and D.J. Crouch：Comparison of the Cell Phone Driver and the Drunk Driver, *Human Factors*, Vol. 48, No. 2, pp. 381-391, 2006.
- 7) トヨタ自動車（株）：http://www.toyota.co.jp/mobilitas/anzen/vol13_1.html
- 8) 新井邦二郎：交通安全教育の評価, 国際交通安全学会誌, Vol. 27, No. 1, pp. 54-61, 2001.
- 9) 本田技研工業（株）：<http://www.honda.co.jp/simulator/driving/index.html>
- 10) アルコール検知器 sociac：<http://www.cocojc.com/free/sociac/index.htm>
- 11) 藤田悟郎：アルコール代謝の個人差と低濃度アルコールが運転に及ぼす影響, 自動車技術会論文集, Vol. 35, No. 4, pp. 215-220, 2004.

(原稿受付 2008.5.24)

(搭載決定 2008.9.13)