

IV-254

ドライビングシミュレータを用いたトンネル進入部の環境評価のための室内実験

大阪大学工学部 正会員 飯田克弘
大阪大学大学院 学生員 池田武司

大阪大学工学部 正会員 森 康男
大阪大学大学院 学生員 金 鍾旻
大阪大学大学院 学生員 三木隆史

1. はじめに

本研究では、バーチャルリアリティによる、高速道路の疑似走行体験が可能なシミュレータを開発し(「バーチャルリアリティ技術を応用したドライビングシミュレータによる室内実験システムの構築」参照)、これを用いて坑口形状などのトンネル進入部の環境評価を目的とした室内実験を行った。そして、得られたデータと実走実験¹⁾で得られたデータとの統計的な比較を行った。さらに実験前に被験者に与える情報による結果の差について検討した。

2. 分析方法

(1) 室内実験と実走実験で得られたデータの比較

室内実験と実走実験で得られたデータの比較により、状況の再現性を調査した。ここでの被験者は19名(グループ1)であり、個人属性の影響を除くため、実走実験被験者で構成した。また、以下では比較を行った区間を区間1~4と定義しているが、それぞれは北陸自動車道の曾々木(下り)、小河(下り)、敦賀(上り)、杉津(上り)の各トンネル手前500mから坑口までを指す。

まず、速度(km/h)、アクセル使用量(%)、心拍数(拍/分)について比較を行った。データは各項目について、区間1mごとの値をトンネル坑口手前500m区間分使用し、区間1~4それぞれについて各被験者ごとに平均値を求め、実走実験と室内実験とで比較を行った。具体的にはまず、 χ^2 検定で分布形状の適合度を検定した。検定は分布が正規分布、あるいは対数正規分布に従うことを帰無仮説とし、データ区間の分割数5、有意水準5%、1%のもとで行った。次にF検定で等分散性を検定した。検定は実走実験と室内実験結果の母分散が等しいことを帰無仮説とし、有意水準5%、1%のもとで行った(表-1に平均差の検定結果のみ示す)。また同時に、前述した500m区間分のデータについて区間ごとに平均値を求めた上で、実走実験と室内実験との間でデータの推移について相関係数を求めた(表-2参照)。

さらに、注視点についても比較した。ここでは区間1~4のそれぞれについて、20の項目(表-3参照)に定義された対象物に関する注視率(各項目を注視した時間の全体に対する割合)を求め、実走実験と室内実験との間で

相関係数を求めた(表-4参照)。

また本研究では、トンネル進入部でのドライバーの挙動に焦点を当てているため、その特性を表す以下のデータについても実走実験と室内実験との間で比較を行った。速度低下位置(坑口)に最も近い速度低下発生位置の坑口からの距離(m)、速度低下時のアクセル使用量低下割合(低下前後のアクセル使用量の差/低下前のアクセル使用量(%))、速度低下時の心拍数増加割合(増加前後の心拍数の差/増加前の心拍数(%))については、区間1~4それぞれについて各被験者ごとに求め、実走実験と室内実験とで比較を行った。具体的には、分布形状の適合度検定、等分散性の検定、母平均の差の検定を前述の方法と同様に行った(表-5に平均差の検定結果のみ示す)。また、速度低下位置における各注視対象物の注視率(各項目を注視した被験者数のグループ全体の人数に対する割合)について、実走実験と室内実験とで相関係数を求めた。ただし、データが各被験者に1つずつと少ないため、対象物を表-3のように6の項目にまとめて分類し、分析を行っている(表-6参照)。

表-1 500m区間の平均データの平均差の検定

実走とG1との検定	区間1	区間2	区間3	区間4
区間平均速度	*	**	*	*
区間平均アクセル使用量	*	*	*	*
区間平均心拍数	*	*	*	*

注)平均差の検定で帰無仮説が棄却された検定については網掛けしている

*:有意水準5% **:有意水準1%

表-2 500m区間の推移の相関係数

実走とG1との相関	区間1	区間2	区間3	区間4
速度の推移	0.45	0.87	0.66	0.88
アクセル使用量の推移	0.59	0.02	0.22	0.18
心拍数の推移	0.09	-0.03	-0.18	-0.13

表-3 注視対象物

分類	注視対象物	分類	注視対象物	分類	注視対象物
視線誘導	右レーンマーク 中央レーンマーク 左レーンマーク 右ガードレール 左ガードレール	トンネル部	坑口右側 坑口上部 坑口左側 トンネル看板 トンネル暗部	周辺車両	左前方車両 左真横車両
路面部	前方路面(右車線) 前方路面(左車線)	暗部・路面境	換気塔	周辺風景	前方風景 右風景 左風景
				その他	運転台

表-4 500m区間の注視対象別の相関係数

実走とG1との相関	区間1	区間2	区間3	区間4
注視点	0.51	0.62	0.90	0.76
3要素を除いた注視点	0.92	0.94	0.93	0.89

注)除いた3要素は左前方車両、右車線の前方路面、右レーンマークである

表-5 速度低下時の注視対象物

相関係数	0.22	0.37	0.83	0.78
◆周辺車両を除いた場合の注視対象物				
相関係数	0.75	0.41		

表-6 速度低下時における平均差の検定

実走とG1との検定	区間1	区間2	区間3	区間4
速度低下位置	**	**	**	**
アクセル使用量低下割合	**	**	*	**
心拍数増加割合	**	**	*	**

キーワード:ドライビングシミュレータ

運転者行動 トンネル坑口

〒565-0871 吹田市山田丘2番1号

(2)実験前に被験者に与える情報による結果の差の検討

グループ1に属さない被験者は31名であり、実走実験未経験者で構成される。このうち16名(グループ2)はビデオ映像、および口頭で現地の情報を与え、残りの15名(グループ3)には口頭のみで情報を与えた。グループ1とグループ2、グループ2とグループ3の比較により、実験前に被験者に与える情報によって生じる結果の差について調査した。なお、比較項目、方法は(1)と同様である(表-7～表-16参照)。

表-7 500m区間の平均データの比較(母平均差の検定)

G1とG2との検定	区間1	区間2	区間3	区間4
区間平均速度	**	**	*	*
区間平均アクセル使用量	**	**	*	*
区間平均心拍数	**	**	*	*

(注)実走とグループ2との区間平均心拍数の検定

実走とG2との検定	区間1	区間2	区間3	区間4
	**	**	*	*

表-8 500m区間の推移の相関係数

G1とG2との相関	区間1	区間2	区間3	区間4
速度の推移	0.76	-0.56	0.90	-0.67
アクセル使用量の推移	0.57	0.05	0.07	-0.03
心拍数の推移	-0.11	-0.11	0.09	-0.15

表-9 500m区間の対象別注視率の相関係数

G1とG2との相関	区間1	区間2	区間3	区間4
注視点	0.96	0.98	0.94	0.93

表-10 トンネル進入部の運転者挙動データの母平均差の検定

実走とG1との検定	区間1	区間2	区間3	区間4
速度低下位置	**	**	*	*
アクセル使用量低下割合	**	**	*	*
心拍数増加割合	**	**	*	*

表-11 速度低下時の注視対象物

相関係数	0.58	0.94	0.69	0.94
------	------	------	------	------

表-12 500m区間の平均データの比較(母平均差の検定)

G2とG3との検定	区間1	区間2	区間3	区間4
区間平均速度	**	**	*	*
区間平均アクセル使用量	**	**	*	*
区間平均心拍数	**	**	*	*

(注)実走とグループ3との区間平均心拍数の検定

実走とG3との検定	区間1	区間2	区間3	区間4
	**	**	*	*

表-13 500m区間の推移の相関係数

G2とG3との相関	区間1	区間2	区間3	区間4
速度の推移	0.50	-0.14	0.47	0.94
アクセル使用量の推移	0.28	-0.19	0.69	0.65
心拍数の推移	0.09	0.06	-0.13	0.76

表-14 500m区間の対象別注視率の相関係数

G2とG3との相関	区間1	区間2	区間3	区間4
注視点	0.89	0.95	0.87	0.85

表-15 トンネル進入部の運転者挙動データの母平均差の検定

実走とG1との検定	区間1	区間2	区間3	区間4
速度低下位置	**	**	*	*
アクセル使用量低下割合	**	**	*	*
心拍数増加割合	**	**	*	*

表-16 速度低下時の注視対象物

相関係数	0.03	0.96	0.84	0.45
------	------	------	------	------

認められなかった(表-7,12)。つまり、グループ1のみ、心拍数の平均値が低く、これは1度被験者になった経験があり、実験に慣れていたためであると考えられる。また、心拍数の推移に関する相関は認められなかった(表-2)。これは、心拍数の変化の回数は多いわけではなく、また変化が現れた場合、それが急激に生じるためと思われる。

注視点については、区間3、4については高い相関が認められ、また左前方車両、前方路面(右車線)、右レーン

マークの3要素を除くと区間1、2にでも相関係数が高くなった(表-4)。今回のシステムでは自由に操舵することができないため、進む方向の目安となる周辺走行車両や右レーンマークの注視率に差が生じたと考えられる。

一方、トンネル進入部での運転者の挙動の特性を示すデータの比較では、注視点については高い相関が

認められた。また、周辺走行車両を除くと区間1、2についても相関係数が高くなった(表-5)。他のデータについては帰無仮説は棄却されず、室内実験結果と実走実験結果に有意差がないと考えられる(表-6)。

(2)実験前に被験者に与える情報による結果の差の検討

各グループ間で比較を行った結果、帰無仮説は棄却されず、有意差が認められなかった(表-7～表-16)。

4.今後の課題

現在、各グループの等質性を確かめるとともに、実走実験の結果と各グループの結果について分析を進めており、これらの結果から室内実験の方法について検討することが今後の課題となる。さらに室内実験で得られるデータの信頼性を向上させるために、室内実験システムにおいて、速度に応じた音響機能の追加や、振動・ゆれの表現を行う、任意の操舵を可能にする等の改良を加えるとともに、再現性が確認できなかった区間についてその原因を分析することが必要となる。

最後に本研究を進めるにあたり多大なる協力をいただいた日本道路公団試験研究所に感謝の意を表します。

参考文献

- 飯田克弘・森康男・三木隆史・三井大生:トンネル進入時におけるドライバーの挙動および反応の分析、土木計画学研究・講演集 No.20(2)、pp.295-298、1997年11月

3.実験結果の考察

(1) 室内実験と実走実験で得られたデータの比較

まず500m区間の平均速度については、区間1、2では帰無仮説が棄却されず、有意差がないと考えられる。しかし、区間3、4では有意差が認められ、室内実験結果が15.7～19.8(km/h)高かった(表-1)。また、500m区間の平均アクセル使用量については、区間1、3では有意差が認められないが、区間2、4では有意差が認められ、室内実験結果が13.2～15.7(%)高かった(表-1)。実験終了後のアンケートでも指摘されたが、室内実験で被験者が感じる速度感がやや不足していることが原因と考えられ、速度感を与える工夫(例えば速度に応じた音響機能の追加や、振動、ゆれを表現する)をするべきであると考えられる。

一方、速度推移に関する相関係数は高くなり、室内実験で実走実験と同様の速度推移の傾向を示すことが分かった。しかし、アクセル使用量推移に関する相関係数は区間1の他では低くなった(表-2)。実走実験では縦断勾配に応じてアクセル使用量が変動するのに対し、室内実験では勾配の影響を考慮していないことが原因と考えられる。

次に、500m区間の平均心拍数について実走実験と室内実験(グループ1)との比較を行うと、すべての区間で有意差が認められ、グループ1の方が11.5～16.8(拍/分)低かった(表-1)。ここで、グループ1と2の比較を行うとやはりグループ1の方が6.2～8.5(拍/分)低く、また、実走とグループ2、3を比較したところ、有意差は