

都市内地下道路における運転者の意識水準低下に関する分析*

Analysis of Driver's Consciousness Level Deterioration in Underground Urban Expressway *

平田輝満**・飯島雄一***・屋井鉄雄****

By Terumitsu HIRATA**・Yuichi IJIMA***・Tetsuo YAI****

1. はじめに

高密度化された都市内において新規高速道路を建設する場合には、周辺環境への影響を考慮して地下構造で検討されることが多い。しかし、トンネル内の走行は、空間的圧迫感や視認性の悪さなどからドライバーに大きな負担を与える。さらに都市内道路となれば、これまでの山岳トンネルとは異なり、交通量が多いことや分合流地点の存在のために他車との交錯も多くなることや、地上道路との接続による縦断面勾配変化や長区間トンネル内を走行することによる疲労など、より大きな負担が予想される。だが一方で、トンネル内走行時は、その視覚刺激の単調性などから、ドライバーの意識水準の低下が起こる可能性も指摘されている^{1) 2)}。都市内地下道路では他車との多頻度交錯等の影響から、一見して意識水準の低下は起こり難いと考えられるが、走行条件によっては意識水準の低下が起こる可能性があり、意識水準の低下した状態で合流部等の交通流が乱れる地点に進入し、適切な回避行動がとれない危険性がある。このような意識水準の低下に起因する事故リスクの解明に向けて、本研究では、主に高齢ドライバーを対象として、ドライビングシミュレータ（以下DS）による走行実験を行い、都市内地下道路における意識水準及び、心理的負担に関して基礎的分析を行った。

2. 都市内地下道路における運転者の意識水準

意識水準とは大脳皮質の活動度合いを意味し、生体の内面的、外面的要因によって常に変動し、極端に低下した状態が睡眠である。意識水準の低下を引き起こす要因は、生理的リズム、疲労、作業の単調性などが考えられ、作業前の体調がよくても作業内容が単調であれば意識水準の低下が起こる可能性がある³⁾。

意識水準の低下により、ドライバーは速度感や立体感といった正常な走行感覚を奪われ、次第に、体や目は起きているのに脳のはたらきが鈍いために外部の刺激に対して反応を示さない状態へと陥ってしまう。その結果、情報の誤認や判断の誤り、動作の遅れ、誤操作を招く可能性があり⁴⁾、また、有効視野（特に周辺視野）の機能が低下するとの報告⁵⁾もあり、非常に危険な状態だといえる。

前述したように、普段より緊張した走行状態が予想される都市内地下道路ではあるが、トンネル内の視覚刺激の単調性、つまり、景色の変化が少なく、視界から得られる情報が変化しない状況では、脳が複雑な判断を必要とせず、次第に脳の意識水準が低下する^{1) 2)}。また、トンネル内では速度感が掴み難いため特定車両に追従することが多いと考えられ、さらに前車が大型車の場合は前方視界が遮られる。前方の視界が遮られた状態が続くと次第にスピード感が鈍り、自分の車が静止しているような錯覚に陥る。この状態に陥ると前方車両の速度に同調して走行してしまうため、脳の活動レベルが低下するとの報告もある¹⁾。従って、長大な都市内地下道路においても、単路部区間で上記のような走行条件に陥ると、進入直後は緊張していたドライバーが徐々に走行に慣れ、意識水準を低下させる要因の影響が勝ってくることは十分考えられる。このような考えから、都市内地下道路の走行安全性を検討するにあたり、ドライバーの意識水準低下や心理的負担の時系列変化に着目していくことが重要である。

3. 意識水準評価指標の選定

(1) 運転中の意識水準評価指標

意識水準評価指標は、ドライバー本人から内観報告を求める主観的評価指標と、外部からの観察や測定を行う客観的評価指標に分けられる。さらに客観的評価指標は、ドライバーの行動や様子から評価する運転行動評価指標と、ドライバーの生理的状態の変化から評価する生理的評価指標に分けられる。運転行動評価指標として、車体のブレ（ステアリング角度や横方向走行位置の安定性）や反応時間、タスク達成率などがあり、生理的評価指標として脳波、皮膚電位活動、眼球運動などがある。本研

*キーワード：交通安全、都市内地下道路、意識水準、高齢者

**学生会員 修士（工学）東京工業大学大学院土工学専攻
〒226-8502 横浜市緑区長津田町 4259 Tel&Fax:045-924-5675
E-mail: hirata@plan.cv.titech.ac.jp

***正会員 修士（工学）首都高速道路公団（千代田区霞ヶ関 1-4-1 Tel:03-3502-7311）

****正会員 工博 東京工業大学大学院人間環境システム専攻

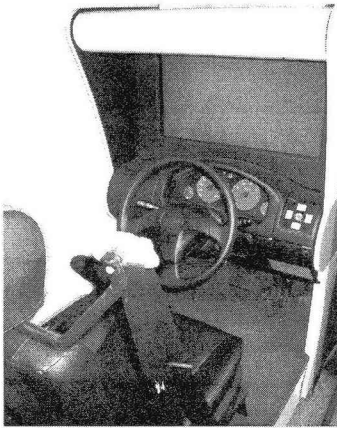


図-1 DSの概観

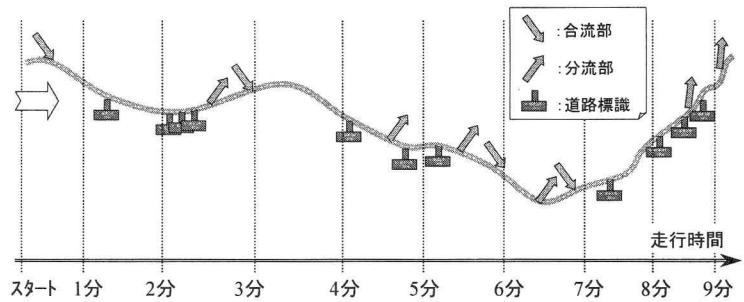


図-2 道路構造と実験時の走行時間

表-1 被験者概要

被験者	人数	平均年齢	平均運転頻度
高齢ドライバー	10 (人)	69.1 (歳)	3.0 (回/週)
タクシードライバー	9 (人)	46.8 (歳)	6.0 (回/週)
学生	3 (人)	22.7 (歳)	1.0 (回/月)

究では意識水準の生理的評価指標として、簡易な装置で時系列的に計測でき、ドライバーへの負担が少なく、過去の実績もある「瞬き頻度」を、また心理的負担指標として「RR 間隔（心電波形の R 波と R 波の時間間隔で心拍数の逆数に対応し、RR 間隔が短いほど心理的負担が大きいと考えられる）」を評価指標として用いた。瞬きは、眠気が生じるような意識水準が比較的低い状態における変動に対して感度が高く、RR 間隔は、興奮状態のような意識水準が比較的高い状態における変動（≒心理的負担）に対して感度が高いと言われており⁴⁾、本研究では比較的単調な走行状態で実験を行っているため、主に瞬き頻度により意識水準を評価する。また運転行動評価指標としてインシデントに対する反応時間も計測したが、時系列変化を計測するには適さず、またインシデント自体の影響が含まれてしまうため、あくまで補足的に使用する。従って、ほぼ瞬き頻度のみによって意識水準を評価することになるが、後節や今後の課題にも述べるように、瞬き頻度に関しては、意識水準低下以外の要因に起因した変化も含まれることや、また時間分解能も高いとは言えない等の問題点も有しており、本稿における分析結果から断定的な結論を導くことはできず、あくまで意識水準低下の可能性を論ずるにとどまっている。これら問題点に関しては今後取り組んでいきたいと考えている。

(2) 意識水準とまばたき⁶⁾

正常人に見られるまばたきは、①生理的なまばたき、②反射的なまばたき、③意識的なまばたきの 3 種類に分類でき、意識水準の変動によって発生パターンに変化が見られるのは①生理的なまばたきである。生理的なまばたきは正常人で毎分 5～20 回程度見られ、この支配中枢は視床下部および辺縁系に存在する。この視床下部、辺縁系は脳新皮質、辺縁皮質両者に賦活、抑制作用を及ぼし

ているといわれ、意識水準の変動と密接に関わっている。このために意識水準が低下すると、乾燥等の眼球情報の伝達経路に不具合が生じ、その結果、瞬きの回数の増加、群発的な瞬きの発生、開閉時間の増加など様々な変化が見られる。また、何かを注視すると瞬き頻度が減少するという観点からは注意水準（本研究で定義する意識水準という概念に含まれる）を評価することができると考えられる。以上から「意識水準の低下に伴い瞬き頻度が増加する」という関係があることが分かる。本研究では、ドライバーの表情を録画したビデオ映像から瞬き頻度の計測を行い、この関係を利用して評価を行った。

4. ドライビングシミュレータを用いた走行実験の概要

(1) DS の概要

本研究で用いた DS は Fixed-base 型であり、映像は 27 インチ CRT モニターに表示している。ハンドル、アクセル、ブレーキは実車部品を使用している。図-1 に DS の概観を示す。記録データは、経過時間、自車他車の走行軌跡、自車他車の走行速度、自車アクセル開度、自車ブレーキ使用量である。

(2) 対象道路

対象道路は全長約 15km の 3 車線地下高速道路で、直線区間・カーブ区間、縦断勾配変化（傾斜勾配 < 3%）があり、4 箇所の合流部、6 箇所の分流部を有する。図-2 に道路構造を示す（横軸の走行時間は、今回の実験における各地点を通過時の走行時間である）。走行時間約 6 分過ぎからは、比較的厳しい道路構造（急カーブ+分合流部）となっている。

(3) 被験者

被験者としては、比較的危険性の高いと思われる

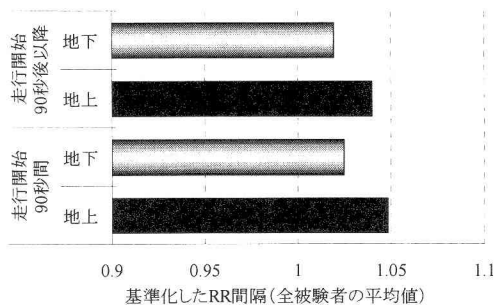


図-3 地上及び地下 DS 走行時の RR 間隔の差
(3 被験者×5 走行=15 サンプル)

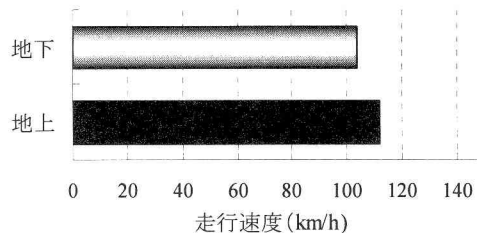


図-4 地上及び地下 DS での走行速度の差 (全平均)
(3 被験者×3 走行=9 サンプル)

表-2 各被験者の地上及び地下 DS での走行速度

推奨走行速度	50km/h		100km/h		150km/h	
	地上	地下	地上	地下	地上	地下
被験者1	66.5	73.0	91.4	89.6	150.4	133.0
被験者2	55.9	59.9	108.8	91.6	155.7	138.2
被験者3	84.5	64.2	129.3	119.2	162.7	164.3
全被験者平均	69.0	65.7	109.8	100.1	156.3	145.2

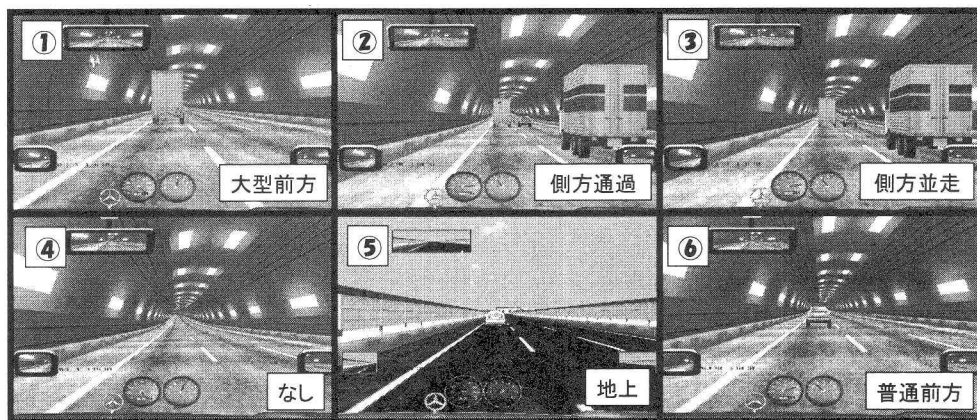


図-5 走行条件の画面

る高齢ドライバー (N=10) 及び、比較対象として運転頻度の高いタクシードライバー (N=9) を対象とした。また主に DS 実験データの再現性検討を目的とした予備的実験を学生 (N=3) に対して行った。被験者の概要を表-1 に示す。

5. ドライビングシミュレータによる実験データの再現性

(1) 再現性検討の対象とした実験データについて

本研究の主な目的は都市内地下道路における意識水準変動を分析することにあるため、ドライバーの意識水準に影響を与える要因について、DS におけるその再現性を確認する必要がある。その要因としては、トンネル内特有の圧迫感、視覚刺激の強度、騒音、振動等が考えられるが、本研究では特に視覚情報の影響を分析するため、トンネル内特有の圧迫感、視覚刺激の強度について再現性の検討を行った。トンネル内の圧迫感については RR 間隔による心理的負担指標を用いた。また視覚刺激の強度としてはトンネル内外の速度感の差により間接的に分析を行った。しかし、本研究では実在しない仮想の道路

を対象としており直接的に実道データと DS データを比較して再現性の検討を行うことができないため、あくまでトンネル内外という道路構造の違いによる走行データの差の傾向を検討するにとどまっている。また、意識水準に影響を与える要因以外に、評価指標である瞬き頻度に関する再現性についても検証することが望ましいが、上記 2 項目に比ベトンネル内外の差などに関してははっきりしたデータが存在せず、新たに実道上のデータを取得するには若干の困難が伴い、本研究ではこれを行っていない。以下でトンネル内外の心理的負担及び速度感それぞれについて詳細に説明をする。

(2) トンネル内の心理的負担

DS 上でトンネル特有の圧迫感を再現できているかについて検討を行った。学生 3 人が地下道路と地上道路を、それぞれランダムに 5 回ずつ計 10 回走行したときの基準化 RR 間隔 (被験者ごとに全 10 走行の平均 RR 間隔で除した値: 被験者間の差を排除。走行回つまり個人内の変動はランダム配置により排除。) の全被験者平均を比較したものが図-3 である。ただし、トンネル内ではその視覚刺激の単調性により、走行の後半で意識水準が低

下し、RR 間隔が変化することも考えられるので、厳密なトンネルの圧迫感の影響を見るために、走行開始から 90 秒間のデータを対象にしている。しかし、実験前に十分な時間をかけて DS 運転の練習をさせてはいるが、走行開始 90 秒間には初期乱れが含まれている可能性もあるため、90 秒後以降のデータも併載している。各被験者各走行の平均 RR 間隔を 1 サンプルとして地上と地下の平均値の差の検定（一対標本片側 t 検定）をおこなったところ、走行開始 90 秒間では 5% 有意 ($t=1.81, P<0.05$)、90 秒以降では 10% 有意 ($t=1.35, P<0.10$) で地上に比べて地下の平均 RR 間隔が短くなっている、つまり、心理的負担が大きい傾向が表れている。実際の道路上においてもトンネル内の心理的負担は大きい傾向にあり⁷⁾、DS でトンネル内と地上部の圧迫感の差が再現されているといえる。

(3) トンネル内の速度感

トンネル内の視覚刺激の強度をトンネル内外の速度感の差により分析した。視覚刺激の強度が大きいほど速度感が大きいと考えられる。実験方法は、自分の走行速度が分からない状況にし（DS の速度計を隠す）、地上及び地下 DS を 3 つの推奨速度（50、100、150km/h）で各 1 回ずつ単独走行してもらった。図-4 に地上および地下 DS における走行速度の全被験者の平均を、表-2 に各被験者各走行の走行速度を示す。表-2 に示す各走行速度を 1 サンプルとして地上と地下の平均値の差の検定（一対標本片側 t 検定）をおこなったところ、地下は地上に比べて平均走行速度が有意に低くなっており ($t=2.26, P<0.03$)、これは同じ速度で走行しているつもりであっても、トンネル内では壁面の影響（視覚刺激大）で、速度が速く感じ、無意識の内に速度を抑えた結果だと思われる。一般的に、トンネル内は地上に比べて速度感が高いと言われている⁸⁾。今回の結果はそれと同傾向を示しており、DS 上でトンネル内と地上部の速度感覚の差が再現されているといえる。

6. 都市内地下道路における意識水準の分析

(1) はじめに

本研究では、意識水準が低下しやすい比較的単調な走行条件（同一車線、前方車追従走行）を想定し、その中で周辺走行車の条件（車両数、車種、走行速度）を変化させて実験を行った。分合流車は発生させず、全区間走行時の意識水準、心理的負担、走行挙動データの変化を観測し、周辺走行車、走行時間、道路構造の影響を分析した。

(2) 走行条件

表-3 本実験における走行条件の概要

	構造	走行条件	略名
①	地下	大型車に追従（他に周辺車なし）	大前
②	地下	大型車に追従 + 中央車線に通過車両（約900台/hour/lane）	通過
③	地下	大型車に追従 + 4台の側方車（全て同速度）	並走
④	地下	単独走行（周辺車なし。他条件の走行速度と同程度の速度で走行するように推奨）	なし
⑤	地上*	普通車に追従（他に周辺車なし）	地上
⑥	地下	普通車に追従（他に周辺車なし）	普前
⑦	地下	大型車に追従 + 前半部に停止車両	停前
⑧	地下	大型車に追従 + 後半部に停止車両	停後

* 地上：地下と同線形で周辺は草原

表-4 各被験者の平均車間距離（全走行条件平均）

高齢ドライバー	O-01	O-02	O-03	O-04	O-05	O-06		
車間距離(m)	122.6	132.4	119.3	108.4	126.3	130.6		
タクシードライバー	T-01	T-02	T-03	T-04	T-05	T-06	T-07	T-08
車間距離(m)	123.6	126.5	116.6	119.3	126.7	119.7	118.0	125.6

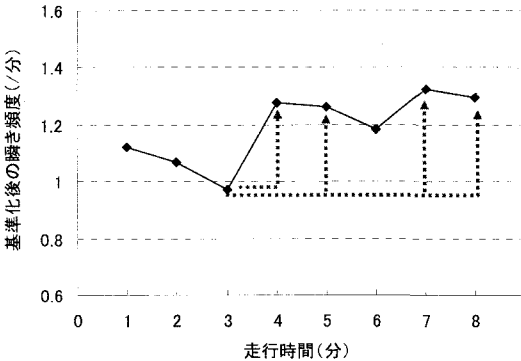


図-6 瞬き頻度（「通過」：高齢 N=6）

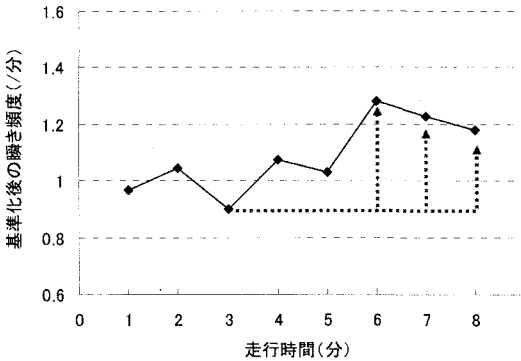


図-7 瞬き頻度（「通過」：タクシー N=8）

各走行条件を表-3、図-5に示す。今回は、分合流車は発生していない。高齢ドライバーは①～⑥の6条件、タクシードライバーは①～⑧の8条件を各1回ずつ走行した。高齢ドライバーに関しては、試験的に行った実験でバーチャルリアリティ酔いや体力の関係から6条件までしかできない被験者が存在したため、本実験では6条件までの実験とした（実際には本実験参加者の中では酔いを訴えた被験者は存在しなかった）。基本走行形態は最左車

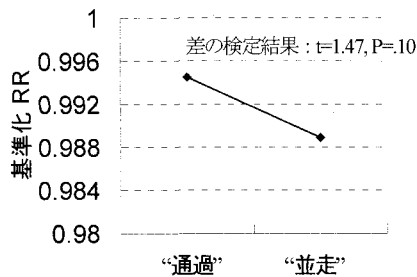


図-8 「通過」と「並走」の平均 RR(高齢 N=6)



図-10 「通過」と「並走」の平均 RR(タクシー N=8)

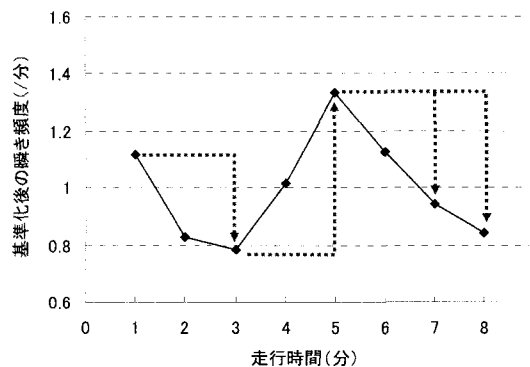


図-9 瞬き頻度(「並走」:高齢 N=6)

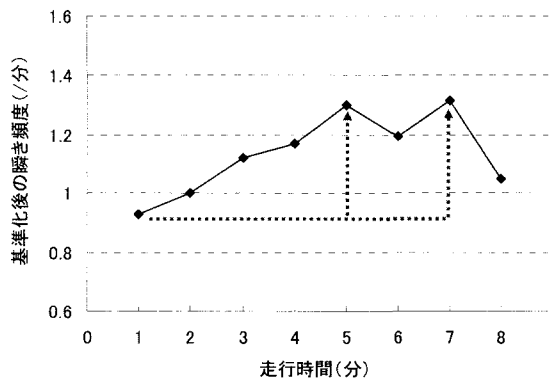


図-11 瞬き頻度(「並走」:タクシー N=8)

線における前方車両追従走行であり、追従対象の前方車両は約100km/hの定速走行を行っている(若干速度を変動しながら走行)。追従走行する際の車間距離については普段実際に走行している際の車間距離で走行するように指示した(車間距離を、ある距離に制限するとその車間距離保持に神経を集中してしまう恐れがあり、なるべく普段どおりの精神状態で走行させるため)。参考のため被験者ごとの平均車間距離を表-4に示す(分析対象とした被験者のみ、後節参照)。各走行は約9分間であり、走行後は10分以上休憩してもらった。走行順は、各被験者でランダムに割り当てた。

また、後節の分析では、現実的な交通流条件である「通過」及び「並走」条件について詳細に分析結果を述べ、その他の条件の分析結果については意図した結果が明確には得られなかったため概略のみを述べている。

(3) 瞬き頻度及び心理的負担データの基準化方法

瞬き頻度(回/分)やRR間隔(msec)は、個人差が大きく、また個人内においても走行回によって差が出てくると考えられる。そのため、各走行回のはじめの約90秒間は、全走行条件で同じ走行条件(最右車線で普通車を追従)を設定し(以後ピボット区間と呼ぶ)、その区間のデータを使用し、データの基準化を行う。基準化は、全

走行条件のピボット区間の平均値で除すことで行った。

(4) 実験結果

(a) 「通過」条件下の意識水準

まず、実際の交通流に最も近い「通過」条件の結果から分析を行う。図-6は、走行時間に対する瞬き頻度の変動を、高齢ドライバーのうち6人のデータを平均したグラフである。高齢ドライバーの中には、瞬き頻度が正常人より極端に少ない被験者が存在し、そのような被験者のデータは除外した(全走行条件の瞬き頻度の平均が5(回/分)未満の被験者を除外)。またそのような被験者はピボット区間の平均瞬き頻度がゼロに近く基準化データとしても好ましくなかったことも除外の理由として挙げられる。以後の高齢者のデータは全てこの6人の平均である。図中の破線矢印は有意差($P<.10$:最小有意差法による検定)を表している。これより、走行時間3分~4分にかけて瞬き頻度の上昇がみられ、つまり、意識水準が低下している。この3~4分の区間は、図-2の道路構造から分かるように、分合流部のない約2kmの単路部であり、この比較的短い単路部において意識水準の低下が起き、そのまま合流部区間に進入する可能性があることを示唆している。また、その後も意識水準の低下が継続している。

	高齢ドライバー			タクシードライバー			
	走行の 前半	走行の 中盤	走行の 後半	走行の 前半	走行の 中盤	走行の 後半	
「大前」		↘			↘	↗	大きく低下
「通過」	?	↘			↘		小さく低下
「並走」	↗	↘	↗	↘	↘		変化なし
「なし」	↗	↘		↗	↗	↗	小さく上昇
「地上」		↘			↘	?	大きく上昇
「普前」		↘	?	↘	?	?	

図-12 瞬き頻度からみた各走行条件における意識水準の変動（走行の前半、中盤、後半はそれぞれ走行時間0～3、3～6、6～9分の区間を表す。図中矢印は前後区間と10%有意で変化があることを、「？」は差の検定結果からは増減が判断できないものを表す）

図-7 は、タクシードライバー9 人のうち、異常値を示した1 人を除く8 人のデータを平均した、瞬き頻度の走行時間に対する変動である。タクシードライバーは、約2km の単路部では意識水準の低下はみられず、より後半部で低下しており、高齢者より意識水準の低下が生じにくいことが示唆された。

(b) 「並走」条件下の意識水準

次に、「並走」条件の結果から分析を行う。一般的に DS 実験では、振動、体感加速度、事故の恐怖感等の欠如により実道実験に比べて意識水準が低下しやすいと考えられる。そのため、今回の条件の範囲内で最も心理的負担が大きいと考えられる、この「側方並走条件」を加えた。この条件でも意識水準の低下が起きれば、都市内地下道路において意識水準の低下が起きる可能性が高くなる。

図-8 は、「通過」条件と「並走」条件のピボット区間を除く全区間における基準化 RR 間隔を高齢ドライバー6 人で平均した値を比較したものである。これより、想定通り、「通過」条件より「並走」条件の方が、側方並走車の影響で心理的負担が大きいことが分かる ($t=1.47, P<0.20$: 被験者ごとの平均値を1 サンプルとした一対標本片側 t 検定)。図-9 には、「並走」条件における高齢ドライバーの瞬き頻度の変動を示す。側方並走車の影響で、3 分までに一旦、意識水準はむしろ上がっている。その後の3 分→5 分では、この心理的負担の大きい状態でも、道路構造が単調な単路部であるため、意識水準の低下がみられる。しかし、後半の道路構造が比較的厳しい区間では、その道路構造変化と側方並走車の影響により意識水準が上がっている。

図-10 は、「通過」条件と「並走」条件のピボット区間を除く全区間における基準化 RR 間隔をタクシードライバー8 人で平均した値を比較したものである。タクシ

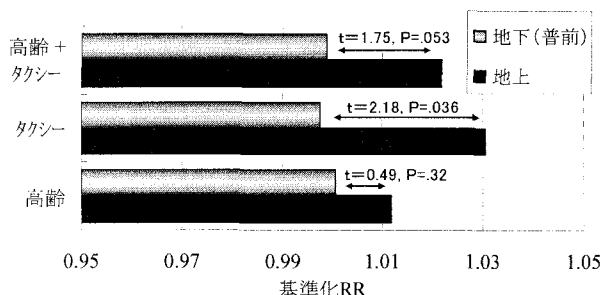


図-13 高齢&タクシードライバーの地上、地下(普前)条件の平均 RR 間隔の比較(図中数値は差の検定結果)

ードライバーでは「通過」条件と「並走」条件間で RR に有意な差はなく ($t=1.06, P<0.10$: 被験者ごとの平均値を1 サンプルとした一対標本片側 t 検定)、心理的負担はさほど変わらないことが伺える。図-11 には、「並走」条件におけるタクシードライバーの瞬き頻度の変動を示す。高齢ドライバーとは異なり、心理的負担に差がないことが影響してか、意識水準は単調に増加傾向にあり、「通過」条件に比べ、若干低下が遅れている程度である。後半の道路構造の厳しい区間においても意識水準の回復はみられない。これらから、タクシードライバーは、この程度の心理的負担では、意識水準の低下に影響を与えないことが分かる。

(c) その他の走行条件における意識水準の変動

その他の走行条件における意識水準の変動を図-12 に示す。簡単にまとめると、追従対象車両の車種(大型 or 普通)によって意識水準の変動に明確な差は現れていない。これは、今回の実験では、被験者の大多数が車間距離を100m 以上とっており(表-4 参照)、そのため、追従対象車両の車種による差は小さかったと考えられる。また、「地上」と「普前(地下)」の比較により地上と地下の相違をみると、本実験結果からははっきりとは言及できないが、地上においても意識水準の低下が見られ

る。図-13に示す「地上」「普前」のRR 間隔の比較をみると、高齢・タクシードライバーのデータをプールした結果からは地下のほうがRR が小さい、つまり心理的負担が大きい（但し、高齢者のみでは差は有意ではない）。しかし実際その差はそれほど大きくはなく、意識水準に影響を与えるほどの差ではない可能性もあり、さらに今回使用した「地上」のCG は、周辺が草原であるため、地下と同様に視覚刺激が単調であったためかもしれない。当然地上であっても、その走行条件が単調であれば意識水準が低下することは考えられ、この点に関しては今後複数パターンの地上部 CG により実験を行う等さらなる検討が必要である。「周辺車なし」条件では、高齢ドライバー、タクシードライバー共に、むしろ意識水準が上昇する傾向があり、これは、ドライバー自らが速度調整を行う必要があることで意識水準が保たれたと考えられ、追従するかしないかが意識水準に大きく影響することが分かる。

(d) 停止車両に対する反応時間

意識水準の低下を、停止車両に対する反応時間から分析を行った。反応時間は意識水準の低下と相関が非常に高いと言われており、意識水準評価指標として信頼性が高いため、その結果と、瞬き頻度の変動傾向を比較し、瞬き頻度の意識水準評価指標としての感度も合わせて考察を行う。

実験方法を説明する。停止車両位置は図-14に示すように、道路の前半、後半の2箇所（両箇所とも直線部）を設定し、その2条件を、タクシードライバーに対して行った8走行条件の中でランダムに発生させた。通常時の走行は「大型前方」条件である。停止車両の存在はドライバーに対して事前に伝えずに行った。評価指標は以下の2つである。

- 反応時間：前方車両が停止車両の存在のために減速を始めた時間から、被験者がブレーキを踏むまでの時間
- 瞬き頻度の変化率：各走行の最初の1分間の瞬き頻度と急停止前1分の瞬き頻度の比

図-15にタクシードライバー5人の反応時間の平均を示す（他の被験者については、ブレーキを踏まなかったことや、追従対象車両の異常走行により除外した）。これより、後半部における反応時間の方が前半部に比べ遅いことがわかる（差は10%有意：一対標本側t検定）。また同様の傾向は、5人中4人にみられた。これから、後半部の方が意識水準の低下が生じていることが伺える。一方、図-16に示す瞬き頻度の変化率をみると、後半部における瞬き頻度の変化率のほうが高く（差は15%有意：一対標本側t検定）、有意確率はあまり良くない

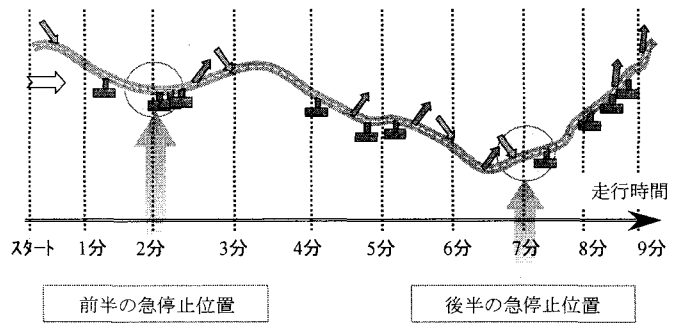


図-14 停止車両の発生位置

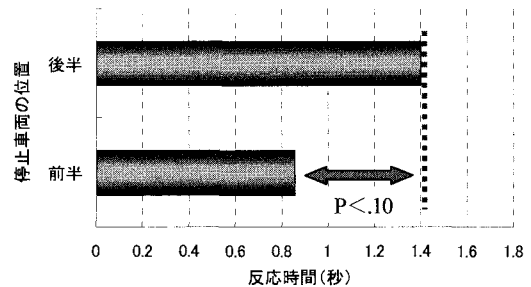


図-15 停止車両に対するブレーキ反応時間 (N=5)

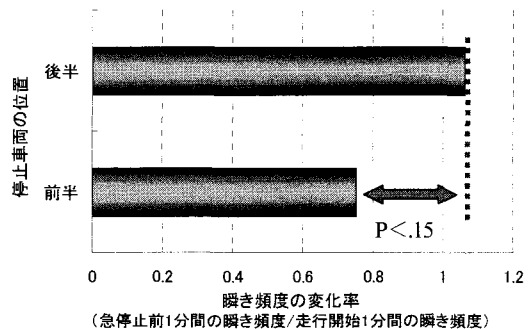


図-16 急停止時の瞬き頻度変化率 (N=5)

ものの、瞬き頻度からも、後半部のほうが前半部に比べ意識水準の低下が伺える。同様の傾向は、やはり5人中4人にみられた。これらから、反応時間と瞬き頻度の間に相関がみられ、瞬き頻度の意識水準評価指標としての信頼性も確認された。

(e) 分析結果からの総合考察

以上の分析結果を以下にまとめる。

- ・実際の交通流に近い「通過」条件において、約2kmの単路部で瞬き頻度の増加が観測され、意識水準の低下が起きていることが示唆された。
- ・特に高齢者では、側方に同速度の車両を走行させ心理的負担を大きくした「並走」条件においても、「通過」条件と同様、約2kmの単路部で瞬き頻度の増加が観測され、意識水準の低下が起きていることが示唆された。
- ・「通過」「並走」条件の結果から全走行時間でみてみると、高齢者では4～5分走行することにより、タクシ

ードрайバーでは 5~6 分走行することにより意識水準が低下し、その後も低い意識水準が継続する可能性が示唆された。

- ・瞬き頻度に加え、停止車両に対する反応時間からも、意識水準の低下が起きている可能性を確認した。
- ・地上と地下の比較では、両者の瞬き頻度変化には明確な差異がみられず、今後、地上道路の形態の取り扱いについてさらなる検討が必要である。

これらから、都市内地下道路では、特に分合流部以外の単路部において意識水準の低下が起こる可能性があり、意識水準の低下した状態で、分合流部に進入する危険性があることが示唆された。

7. おわりに

本研究では、ドライビングシミュレータを活用し、都市内地下道路の走行安全性をドライバーの意識水準の低下減少という視点から分析を行った。本研究の成果を以下にまとめる。

- ・DSによる実験データの再現性の分析を行い、DS上で、地下と地上の速度感の差、および、心理的負担の差が再現されていることを確かめた。
- ・DSによる走行実験から、実際の交通流に近い条件（通過条件）、また心理的負担を大きくした条件（並走条件）でも、単路部において瞬き頻度の増加が確かめられ、つまり意識水準が低下している可能性があり、実際の都市内地下道路においても、意識水準の低下する危険性があることを示した。
- ・運転頻度の高いタクシードライバーと比べて、高齢ドライバーの意識水準が低下しやすいことが示唆された。

以下に、今後の課題を挙げる。

- ・本研究では意識水準の評価指標として瞬き頻度を使用した。瞬き頻度に対しては、走行画面を映しているモニターや湿度等の影響、また意識水準とは関係の無い意識的な瞬きを完全には分離できないことなど、純粋にドライバーの意識水準を計測できるとはいえない問題点もある。そのため今回得られた結果のみから都市内地下道路において意識水準の低下が起こると断定はできない。したがって、より感度が高く、上記のような外乱が入り難く、また時間分解能の高い意識水準評価指標（例えば皮膚電位水準）を用いた実験、分析からデータの信頼性を上げる必要がある。またそれら指標の再現性の検討を行う必要もある。
- ・地下の影響をより明らかにするために、比較対象として様々なパターンの地上部のCGを用意し実験を

行う。

- ・高密度な交通流や、分合流車を再現し、より危険性の高い交通流を再現した実験、分析を行う。
- ・被験者数、被験者層を拡大し、データの安定性を向上させる。
- ・走行安全性の分析により得られた結果を受け、ITS等の交通安全対策を検討し、その効果を分析する。I 走行支援としては、「分合流部位置情報の提供」、「意識水準の維持システム」、等が考えられる。
- ・可視映像領域の拡大やモーション機能の付加により、DSの運転感覚を、より実車に近づける。

参考文献

- 1) 加藤正明：高速道路の事故分析—トンネル内の事故原因について—, 人間工学, Vol.16, No.3, pp.99-103, 1980.
- 2) 西村千秋：ドライバーの覚醒水準と安全, 国際交通安全学会誌, vol.19, no.4, pp.19-28, 1993.
- 3) 荻坂直行（編著）：脳と意識, 朝倉出版, 1997.
- 4) 久保田競, 酒田英夫, 村松道一（編）山本健一（著）：ライブラリ脳の世紀—心のメカニズムを探る⑧ 意識と脳—心の電源としての意識, サイエンス社, 2000.
- 5) Roge, J., Pebayle, T., Kiehn, L. and Muzet, A.: Alteration of the useful visual field as a function of state of vigilance in simulated car driving, Transportation Research Part F, Vol. 5, Issue 3, pp.189-200, 2002.
- 6) 田多英興, 山田富美雄, 福田恭介（編著）：まばたきの心理学—瞬目行動の研究を総括する, 北王路書房, 1991.
- 7) 平田輝満, 屋井鉄雄：心理的負担からみた都市内高速道路ドライビングシミュレータの適用性; 土木学会第 57 回年次学術講演会講演概要集, [4], 2002.
- 8) 阪神高速道路公団, 財団法人災害科学研究所：トンネル事故に関する研究（その 3）, 1999.

都市内地下道路における運転者の意識水準低下に関する分析*

平田輝満**・飯島雄一***・屋井鉄雄****

本研究では、ドライビングシミュレータを活用し、ドライバーの意識水準（脳の活性度合い）からみた都市内地下道路の走行安全性について分析を行った。複数の分合流部を有する全長約16kmの都市内地下道路を対象とし、意識水準の評価指標としては瞬き頻度を使用した。都市内地下道路ではトンネル内特有の圧迫感や他車との多頻度交錯によりドライバーに大きな負担を与えられられるが、単調な走行条件では、特に単路部区間において意識水準の低下が生じ、また高齢ドライバーの意識水準が低下しやすい可能性があり、意識水準の低下した状態で合流部等の交通流が乱れる地点に侵入し適切な回避行動がとれない危険性があることが実験より示唆された。

Analysis of Driver's Consciousness Level Deterioration in Underground Urban Expressway *

By Terumitsu HIRATA**・Yuichi IJIMA***・Tetsuo YAI****

This paper focuses on consciousness level deterioration while driving in a long urban expressway tunnel. Experiments are conducted using a driving simulator. In urban expressway tunnel, drivers might experience high mental load because of spatial pressure, high traffic volume, and conflict with other vehicles at merging sections. On the other hand, monotonous visual stimulus inside tunnel decreases driver's consciousness level. Using experiments where the relatively monotonous traffic conditions are assumed, results indicate that the driver's consciousness level can deteriorate especially when driving at basic segment between merging sections, and that of elderly drivers can deteriorate more than taxi drivers.
