

# 都市内地下道路における意識水準低下に関する分析\*

## Analysis of 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<sup>1)・2)</sup>。都市内地下道路では他車との交錯が多いことから、一見して意識水準の低下は起こり難いと考えられるが、本研究では、走行条件によっては意識水準の低下が起こり、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と考えた。そこで、主に高齢ドライバー（以下高齢D）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分析を行った。

### 2. 都市内地下道路における意識水準

意識水準とは大脳皮質の活動度合いを意味し、生

\*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木工学専攻  
〒152-8552 目黒区大岡山 2-12-1 Tel:03-5734-2693

E-mail: hirata@plan.cv.titech.ac.jp

\*\*\*正会員 修士（工学）首都高速道路公団

\*\*\*\*正会員 工博 東京工業大学大学院人間環境システム専攻

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<sup>3)</sup>。

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<sup>4)</sup>，非常に危険な状態だといえる。

都市内地下道路では，空間的圧迫感や視認性の悪さ，他車との交錯が多いこと等から，ドライバーは普段より緊張した状態となることが予想される。しかし一方で，トンネル内は，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が続くため，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<sup>1)・2)</sup>。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言われており，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<sup>1)</sup>。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。本研究では、簡易な装置で計測でき、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」と「RR 間隔」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に対して感度が高いと言われている<sup>4)</sup>。

#### (2) 意識水準とまばたき<sup>5)</sup>

正常人に見られるまばたきは、生理的なまばたき、反射的なまばたき、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、辺縁系は大脳新皮質、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。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、意識水準の低下に伴う瞬き頻度の増加現象により評価を行った。

### 4. ドライビングシミュレータを用いた走行実験

#### (1) 実験概要

走行実験は Fixed-base の DS を用いて実施し、対象道路は全長約 16km の 3 車線地下高速道路で、直

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)

表 2. 本実験における走行条件の概要

構造	走行条件	略名
地下	大型車に追従 (他に周辺車なし)	大前
地下	大型車に追従 + 中央車線に通過車両 (約900台/hour/lane)	通過
地下	大型車に追従 + 4台の側方車 (全て同速度)	並走
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
地上*	普通車に追従 (他に周辺車なし)	地上
地下	普通車に追従 (他に周辺車なし)	普前
地下	大型車に追従 + 前半部に停止車両	停前
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

線区間・カーブ区間、縦断勾配変化があり、3JCT・5IC を有する。被験者としては、比較的危険性の高いと思われる高齢 D (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 (以下タクシード) (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の実験を学生 (N=3) に対して行った (表 1 参照)。

#### (2) 走行条件の選定

本研究では、特に意識水準が低下しやすいと思われる走行条件 (同一車線、前方車追従走行) を選び、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 (表 2 参照)。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、道路構造等の影響を分析した。なお、表 2 に示す走行条件のうち、高齢 D は ~ を、タクシードは ~ を行い、走行順は各被験者でランダムに割り当てた。また慣れの影響等を見るために、各条件のスタート後約 90 秒は、最右車線において普通車に追従させ (ピボット区間)、基準化時のデータに使用した。

### 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) トンネル内の速度感

自分の走行速度が分からない状況にし (DS の速

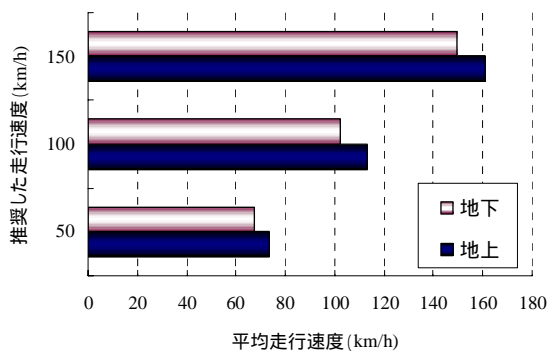


図 1. 各推奨速度における地上及び地下 DS での  
走行速度の差 (速度計は非表示)

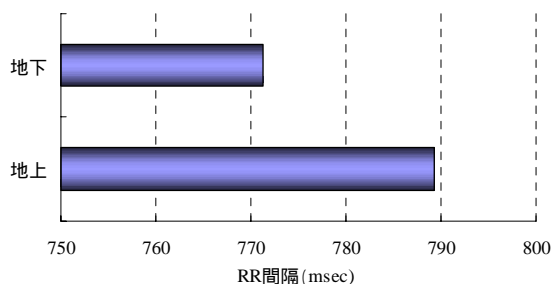


図 2. 地上及び地下 DS 走行時の RR 間隔の差

度計を隠す), 推奨速度 (50km/h,100km/h,150km/h の 3 種類) で単独走行してもらった. 図 1 は学生 3 人の各推奨速度における平均走行速度である. トンネルは地上に比べて平均走行速度が低くなっており ( $P < 0.01$ ), 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. 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.

## (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 5 回ずつ走行したときの平均 RR 間隔を比較したものが図 2 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. 地上に比べてトンネル内走行では平均 RR 間隔が短くなっており ( $P < 0.01$ ), 心理的負担が大きい傾向が表れている. 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.

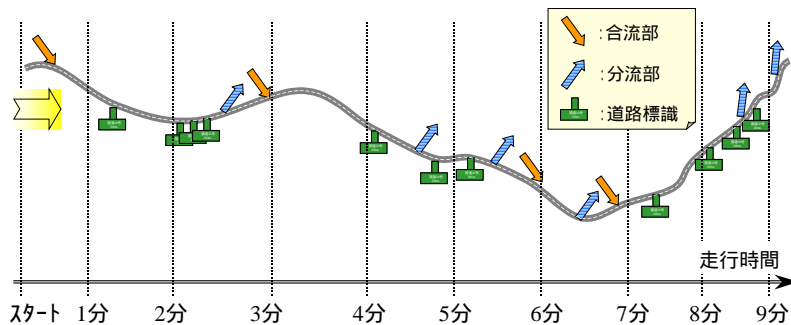


図 3. 道路構造と実験時の走行時間

## 6. 都市内地下道路における意識水準の分析

まず, 実際の交通流に最も近い「通過」条件 (表 2 参照) の結果から分析を行う. 図 4 は, 走行時間に対する瞬き頻度 (回/分) の変動を, 高齢 D のうち 6 人のデータを平均したグラフである. 高齢 D 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. 以後の高齢者のデータは全てこの 6 人の平均である. なお, 瞬き頻度は, 被験者ごとに全走行条件のピボット部の瞬き頻度の平均で除することにより基準化した. 図中の破線矢印は有意差 ( $P < .10$ : 最小有意差法による検定) のある瞬き頻度のペアを表している. 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 3 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. 紙面の都合上タクシー D の結果については割愛するが, タクシー D では, 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.

次に, 「並走」条件の結果から分析を行う. DS 実験では, 実道実験に比べて, 意識水準が低下しやすい可能性もあるため, 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「側方車並走条件」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 5 には, 「並走」条件における高齢 D 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。タクシーDでは、高齢Dとは異なり、心理的負担が大きいかにも関わらず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。また、心理的負担は、高齢、タクシーD両者とも、「並走」条件の方が「通過」条件より大きかった。

紙面の都合上、その他の走行条件の結果については図6にまとめた。簡単に述べると、追従対象車両の車種(大型 or 普通)の影響は、はっきりとは現れていないが、大型車追従時の方が意識水準は低下する傾向があった。また、「地上」条件では、地下と同様、もしくは、それ以上の意識水準の低下がみられた。今回使用した「地上」のCGは、周辺が草原であるため、むしろ地下よりも視覚刺激が単調であったためかもしれない。「周辺車なし」条件では、高齢D、タクシーD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る。また条件の実験から、走行後半部での停止車両へのブレーキ反応時間の方が、前半部より遅い結果となり(瞬き頻度も後半部の方が高い)、反応時間からも意識水準の低下が伺えた。

以上の分析結果をまとめ、実際の交通流に近い「側方通過」条件においても、約2kmの単路部で意識水準の低下がみられ、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場合

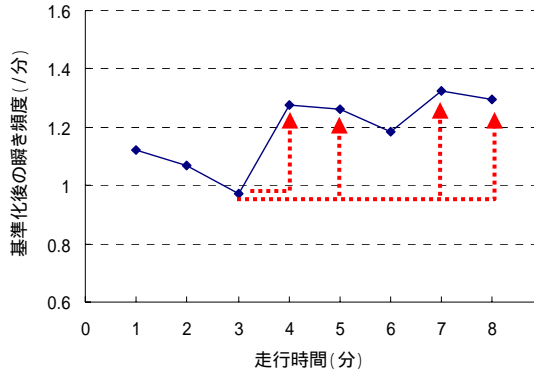


図4 瞬き頻度(「通過」: 高齢D)

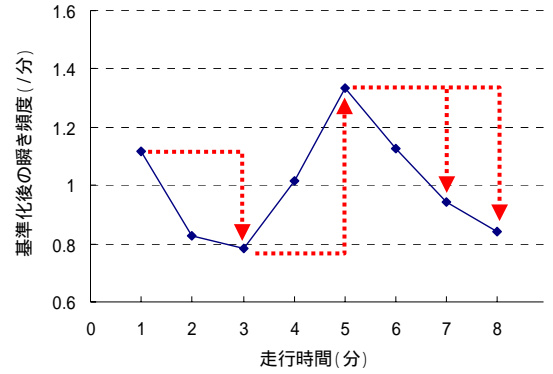


図5 瞬き頻度(「並走」: 高齢D)

	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	
大型前方車	→	↘	→	→	↘	↗	大きく低下
大型前方+側方通過車	?	↘	→	→	↘	→	小さく低下
大型前方+側方並走車	↗	↘	↗	↘	↘	→	変化なし
周辺車なし	↗	↘	→	↗	↗	↗	小さく上昇
普通前方車+地上部	→	↘	→	→	↘	?	大きく上昇
普通前方車	→	↘	?	↘	?	?	大きく上昇

図6 各走行条件における意識水準の変動

においても、「側方通過」条件と同様の単路部で意識水準の低下がみられたことから、都市内地下道路でも、本実験のような比較的単調な走行条件下では、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、DS 実験から都市内地下道路における意識水準の低下現象を確認したが、今後被験者数を増し、データの安定性を上げること、時間分解能の高い評価指標の導入、また、より高密度な交通流で、分合流車も存在する条件での実験が必要となる。

### 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, pp99-103, 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, pp19-28, 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 意識と脳~心の電源としての意識, サイエンス社, 2000 .
- 5) 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 .