

# 地下道路における覚醒水準と運転挙動\*

## Drivers' Arousal Level and its Influence on Driving Behavior in Underground Expressway\*

増田智志\*\*・林和史\*\*\*・平田輝満\*\*\*\*・屋井鉄雄\*\*\*\*\*

By Satoshi MASUDA\*\*・Kazuhito HAYASHI\*\*\*・Terumitsu HIRATA\*\*\*\*・Tetsuo YAI\*\*\*\*\*

### 1. はじめに

既に高密度化された都市内において道路整備が検討される場合、用地確保の問題や周辺環境への影響等から地下構造が計画されることが多い。その際、大深度地下の利用の増加、トンネル掘削技術の向上等によって、地下道路は長大化の傾向にある。

しかしながらトンネル内の走行はその低視認性や空間的圧迫感等から負担を受けるだけでなく、都市内地下道路では多交通量による長時間低速走行を強いられることも考えられ、トンネル内走行時に特徴的な視覚刺激の単調性等も併せドライバーの覚醒水準低下が起こる可能性が指摘されている<sup>1)</sup>。さらに多交通量による追従走行状態は、単独事故がそれに収まらず後続車を巻き込んだ多重事故を招きやすいと考えられ、また地下道路という閉塞空間では事故被害が甚大となるために、単独事故のみならず多重衝突事故に焦点を当て、その防止対策を十分に検討する必要がある。

そこで本研究では、都市内地下道路における多重衝突事故に関して、特に走行中の覚醒水準低下を確認するとともに交通条件による低下傾向の違いと運転挙動への影響を考察し、覚醒水準低下の防止システム開発に向けた基礎的実験を行い、その効果を検証することを目的としている。

### 2. MOVIC-T4による地下道路走行実験

都市内地下道路における多重衝突事故の発生メカニズムの分析のために、独自に開発したドライビングシミュレータ(以後DS)MOVIC-T4を用いて、仮想空間(VR)走行実験を行った。

#### (1) MOVIC-T4のシステム概要

MOVIC-T4では、走行画面をヘッドマウントディスプレイ(HMD)に表示し、腰部トラッキングセンサーにより運転者の顔の向きと走行画面を連動させ360度視界を再現している。また走行時の体感加速度を小型の2軸モーションベースで再現している。本研究で再現している走行空間は、全長約1.6kmの3車線都市内地下道路であり、周辺走行車の台数、車種、走行特性を変化させ、様々な交通流のシナリオを自由度高く設定可能である<sup>2)</sup>。

#### (2) 実験目的

本実験はDSを2台用いて被験者2名が同じVR地下道路空間を同時走行する実験であり、多重衝突事故において重要な前後車両挙動の相互作用を考慮したデータを得ることが可能である(図-1)。またVR地下道路走行中の覚醒水準を計測することで、走行パターンや属性による覚醒水準推移の違いとともに、覚醒水準が運転挙動に与える影響を分析することを目的としている。

#### (3) 実験概要と走行パターン

実験は被験者を2名1組とし、各組に3パターンの走行をさせている。走行パターンは、前方トラック(AI制御)追従と前方小型車(被験者運転者)追従、前後の入れ替え、前方車なし(指定速度走行)と前方小型車追従の3パターンである。被験者への指示は前方車追従すること及び指定速度走行することのみであり、その他については日常と同様の運転を指示した。

各走行とも走行終盤にインシデント(前方車両の衝突事故)を発生させており、インシデントに対する運転挙動データを取得している。

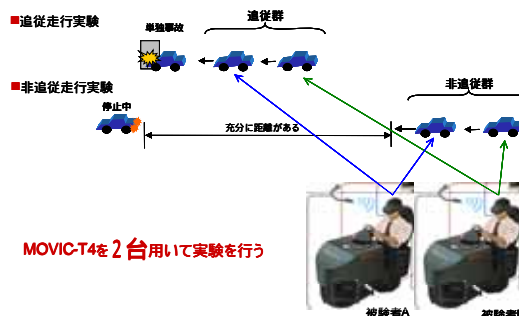


図-1: MOVIC-T4の外観と実験イメージ

\*キーワード: 交通安全, 都市内地下道路, 覚醒水準, バイオフィードバック

\*\*学生員, 東京工業大学 大学院総合理工学研究科

(横浜市緑区長津田町4259, TEL045-924-5657)

\*\*\*非会員, 修(工), マツダ株式会社

\*\*\*\*正員, 博(工), 財)運輸政策研究機構運輸政策研究所

\*\*\*\*\*正員, 工博, 東京工業大学 大学院総合理工学研究科

#### (4) 実験結果の概略

本実験から、追従走行実験においては全体の7割に及ぶケースで何らかの事故が起こり、全体の5割以上の走行が3台以上が絡む多重衝突事故へ発展する等の結果を得ている。インシデントに対する車両挙動等の詳細については林ら<sup>3)</sup>を参照されたい。次章以降では特に走行中の覚醒水準と運転挙動に着目して分析を行う。

### 3. 地下道路における覚醒水準の推移

実験では走行中の被験者の覚醒水準を計測している。各走行において走行開始からインシデント発生までの時間は6分～7分程度であり、その間の覚醒水準の推移について比較、分析を行う。

#### (1) 覚醒水準計測の指標

計測した覚醒水準の指標には、覚醒水準と高い相関がありドライバーの覚醒水準測定に良いとされている皮膚電位水準(SPL)を用いた<sup>4)</sup>。SPLの値が高いほど覚醒水準が高いことを示す<sup>5)</sup>。また分析では、被験者間比較のために計測中の最大値を1、最小値を0とする基準化を行っている。なお基準化に際して被験者の個人差の解消を目的として、全ての被験者に対して走行実験前に安静時(瞑想時)及び興奮時(計算課題や会話時)の値を計測している。

覚醒水準データの有効サンプル数は学生56名、高齢者54名である。

#### (2) 覚醒水準推移の傾向比較、分析

SPL計測の結果、走行中の覚醒水準低下状態が多くの被験者に確認されている。覚醒水準低下に関わる特性は各被験者や体調等によるものとも考えられるが、属性や条件による傾向を捉えるために被験者全体の平均SPL値を用いた分析を行った。

学生、高齢者毎に各走行時の平均SPL値の推移を図-2、図-3に示す。走行全体の傾向評価のために、基準化したSPL値をさらに1分間毎に平均化した値を用いている。

反復測定分散分析の結果、学生前方車なし(5%有意)、高齢者AI車追従(同)、同小型車追従(同)において、平均SPL値の時間的变化が見られた。

さらに開始1分間と各時間帯の平均値に対して、平均値の差の検定を行うことで低下状態にある時間帯を比較する。(表-1)

検定の結果から、属性及び前方車という交通環境によって低下時間帯に違いがあることが示された。学生ではトラック追従走行で低下状態が続きやすく、高齢者ではトラック及び小型車追従で低下状態が続く傾向にある。顕著な傾向として、学生は小型車追従において低下が見

られないこと、前方車がないケースでは学生、高齢者ともに低下状態が続いておらず、学生においては上昇傾向が見える。これは高齢者に比べ学生は視覚変化に敏感であり、カーブや合流部、前方車の動きに反応して水準を維持しやすい傾向があるためだと考えられる。さらに学生は高齢者に比べ平均車間距離が短いために、前方車への配慮が覚醒作用となっているとも考えられる。またこれらから、都市内地下道路の特徴と言える単調な追従走行に、多くのドライバーが覚醒水準低下状態を維持しやすいという潜在的な危険性が伺える。

しかし一方で図-4のように、例えば全体的な傾向が見られない学生小型車追従走行であっても、覚醒水準

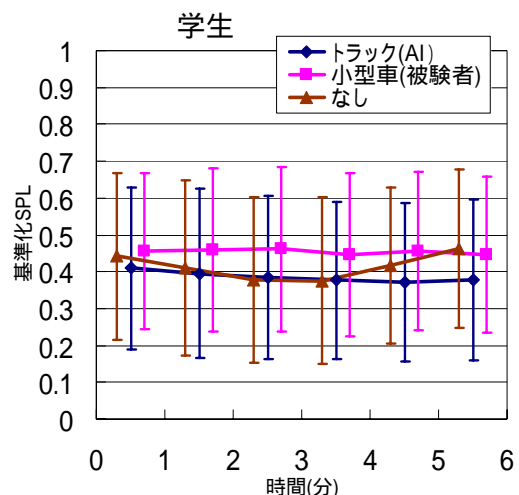


図-2 走行中の平均SPL値の推移(学生)

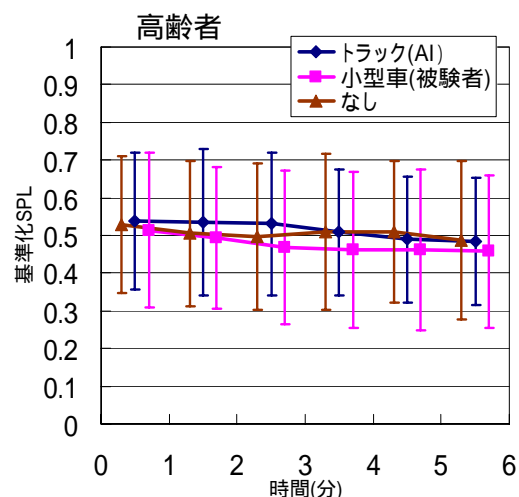


図-3 走行中の平均SPL値の推移(高齢者)

表-1 開始1分間と各時間帯との平均値の差の検定

| 検定した時間帯の対    |     | 0-1m<br>1-2m | 0-1m<br>2-3m | 0-1m<br>3-4m | 0-1m<br>4-5m | 0-1m<br>5-6m |      |
|--------------|-----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|
| 有意確率<br>(片側) | 学生  | トラック         | 0.06         | 0.04         | 0.02         | 0.02         | 0.08 |
|              |     | 小型車          | 0.40         | 0.39         | 0.35         | 0.49         | 0.36 |
|              |     | なし           | 0.01         | 0.00         | 0.00         | 0.17         | 0.30 |
|              | 高齢者 | トラック         | 0.43         | 0.36         | 0.08         | 0.02         | 0.01 |
|              |     | 小型車          | 0.11         | 0.03         | 0.01         | 0.03         | 0.01 |
|              |     | なし           | 0.04         | 0.06         | 0.24         | 0.24         | 0.11 |

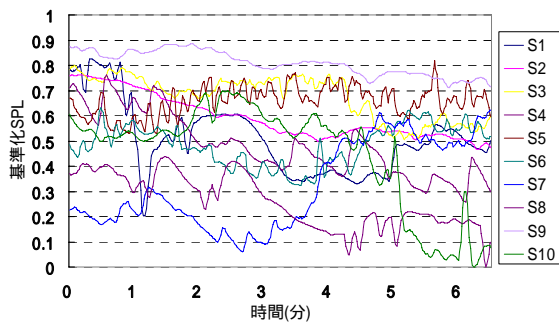


図 - 4 被験者毎の標準化SPL値の推移例  
(学生小型車追従走行 10名)

低下が起きている被験者が十分に存在することも実験結果からわかっており、走行条件や属性に限らず、地下道路においてドライバーが覚醒水準低下状態に陥る可能性は、十分に検討されなければならないと言える。

#### 4. 運転挙動への影響

覚醒水準の低下が運転挙動に与える影響として、インシデントに対する反応時間について分析する。なお本研究では反応時間を「前方車のブレーキランプ点灯から、ブレーキを踏む瞬間あるいはハンドルを切る瞬間までの時間」と定義している。

##### (1) データの抽出

覚醒水準が反応時間へ及ぼす影響を分析するにあたり、一部の実験データを棄却している。

##### a) 複数回目のデータの棄却

複数回目の走行においては、被験者にインシデント発生の先入観が発生している可能性があるため、反応時間の比較が適当ではないと考えられる。よって複数回目の走行データは棄却した。

##### b) 車間距離によるデータの棄却

DS の解像度を考慮し、インシデント発生時の前方車との車間距離(前方車反応時車間距離)が150M以上のサンプルを棄却した。

以上の条件でサンプルの抽出を行い、学生54名、高齢者43名の有効サンプルにより分析を行った。

##### (2) 衝突と反応時間について

図 - 5 に反応時間と前方車反応時車間距離の指標を、前方車への衝突・非衝突の結果別に散布図で表す。衝突、非衝突の結果が明確に分かれる結果となっており、反応時間が短いことが衝突に関わる重要な要因だということが伺える。

##### (3) 反応時間に関する分析

反応時間に対する覚醒水準の影響分析として、反応時間を従属変数とした重回帰分析を行った。分析にあたり

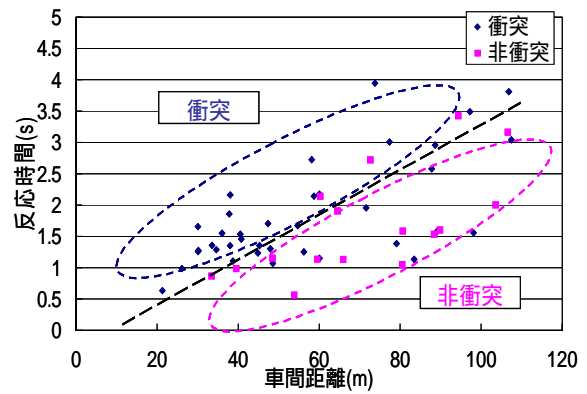


図 - 5 反応時間と車間距離の関係(1 回目走行)

表 - 2 反応時間に対する重回帰分析結果(学生)

| 従属変数:: 反応時間 | R <sup>2</sup> |       |
|-------------|----------------|-------|
|             | 0.555          |       |
|             | 標準化係数          | t値    |
| (定数)        |                | 2.91  |
| 車間距離        | 0.562          | 5.27  |
| 反応時走行速度     | -0.250         | -2.41 |
| 低覚醒継続ダミー    | 0.220          | 2.07  |

(N = 54)

って、覚醒水準の指標にはインシデント発生時のSPLの値のみでなく、SPLの段階的な評価(高いか低いか等)やインシデント発生時のSPL推移の状態(継続中、上昇中、減少中)を取り入れている。

##### a) 学生

学生を対象とした分析結果を表 - 2 に示す。車間距離や車両速度に加え、覚醒水準指標としてSPL値を基に算出した、低覚醒水準がしばらく継続していたかどうかを示すダミー変数が統計的に有意な説明変数であることがわかった。なお、低水準域及び高水準域の閾値には0.4を採用している。

分析結果より学生のインシデントに対する反応時間は、車間距離が長いほど、反応時の走行速度が低いほど遅くなることが示された。また覚醒水準について、SPLの値そのものではなく、低覚醒水準がある程度継続すると反応時間の遅れが生じ、衝突につながりやすいことが示唆された。

##### b) 高齢者

高齢者については、有意な結果は得られなかった。本実験の高齢者サンプルには年齢層に幅があり、車の運転に直結すると考えられる運動能力が被験者毎に大きく違ってしまったことが原因と考えられる。

以上の結果から、SPL を用いて走行中の覚醒水準の評価する場合には、数値だけでなくその時の傾向という指標を考慮した新たな評価方法の検討が必要であると言える。しかしながら高齢者において有意な結果が得られなかったことも含め、今後は同一被験者内における覚醒水準の状態による運転挙動の違いの解明が望まれる。



## 5. 覚醒水準維持のためのバイオフィードバック実験

事故を引き起こす要因であることがわかった覚醒水準の低下現象に対して、低下を防止する方法として SPL をドライバーへバイオフィードバック(以下 BF)する方法について基礎的な実験を行いその効果を考察した。

### (1)バイオフィードバック

バイオフィードバックとは、通常認知し難い自己の生体現象を認知の容易な外部情報に変換して生態に還元することで生体現象を自己制御する手法である。この手法をドライバーの覚醒水準に用いることで、地下道路走行において危惧される覚醒水準の低下現象を認知し、防止することが可能となることが期待される<sup>4) 6)</sup>。

### (2)実験概要

走行中の運転動作等、走行間や被験者間の条件差を省き統制化された実験とするために、被験者には単純な作業(DS による地下道路走行映像の観賞)をさせ、作業中の覚醒水準について BF なし、ありの場合について比較する。実験被験者数は学生5名である。

BF の方法として、図-6のような画面を被験者に呈示した。には現在の SPL 値、には3段階の閾値に対応した警告、にはそれまでの SPL 値推移が表示される。なお呈示する SPL 値には基準化値を用いており、閾値 0.6, 0.4, 0.2 に対し、グラフ色の変化(順に緑黄赤)及び警告ランプが点灯する。

作業は同一日中に行い、作業の順序は全被験者で BF なし、BF ありの順である。なお各作業の間には十分な休憩を取らせた。

### (2)実験結果

一被験者の実験結果を図-7に示す。この被験者に見られるように、閾値に達した際の SPL 値維持が4人中4人で見られた。また低下の傾きに違いが見られ、BF 実験において小さくなっている。これはこの被験者を含め、開始時から警告域にいた2名について見られる傾向で、覚醒意図によるものだと考えられる。

しかしながら、閾値に対する水準維持は見られたものの、警告に対して水準上昇が見られた被験者は0名であった。また維持時間にも個人差があり、維持しきれずに再び低下をしてしまう被験者もみられた。ただしそれらの被験者は、次の段階の閾値に達した際には再び維持傾向が確認されることから、段階を踏んだ閾値の設定に有効性が高いと考えることが出来る。これらに関して閾値の設定方法による違い及び訓練による効果の違い(維持時間や上昇の可能性)を検証することが、システム開発に向けて今後の課題である。

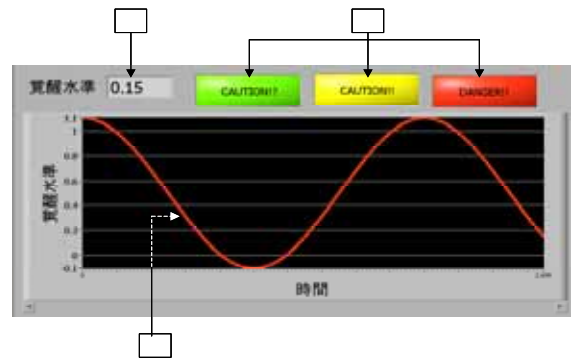


図-6 バイオフィードバック呈示画面

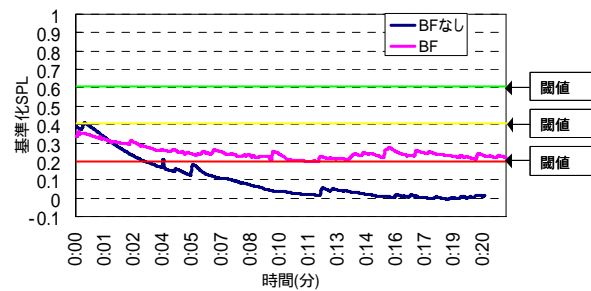


図-7 作業中の基準化SPL値の推移

## 6. おわりに

本研究では地下道路における多重衝突事故の防止対策の検討を目的に、VR 地下空間走行実験を行うことで覚醒水準の交通環境による低下特性の違いを明らかにし、覚醒水準がインシデントに対する反応時間に与える影響について分析した。また、BF 手法を用いて覚醒水準低下を防ぐシステムについて実験を行い、その有効性を確認するとともに課題を抽出した。

今後の課題として、覚醒水準指標としてのSPLの評価方法を改良し、同一被験者内における覚醒水準が運転挙動へ与える影響を検証すること、及びBFシステムの実用化に向けた改良が挙げられる。

### 参考文献

- 1) 平田輝満ほか：MOVIC-T4 を活用した都市内地下道路の走行安全性分析，土木計画学研究・論文集，Vol.23 [4]，pp.797-804，2006。
- 2) Terumitsu HIRATA, et al: Development of Driving Simulation System MOVIC-T4 and its Validation using Field Driving Data, Journal of the Japan Society of Civil Engineers, Tsinghua Science and Technology, Vol.12, No.2, pp.141-150, 2007。
- 3) 林和史ほか：VR走行実験データを活用した多重事故発生時の運転挙動に関するモデル分析，第36回土木計画学研究・講演集，2007
- 4) 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, pp19-18
- 5) 宮田洋(監修)・藤沢清，柿木昇治，山崎勝男(編集)：新生理心理学<1巻>生理心理学の基礎，北大路書房，1998。
- 6) 荒木学ほか：バイオフィードバックによる居眠り防止方法の評価，土木計画学研究・講演集，vol.29, pp.227，2004