

覚醒水準評価による運転中の居眠り防止の研究*

A Study of Prevention of Drowsy Driving by Using Arousal Level*

三浦崇嗣**・屋井鉄雄***・増田智志****・鈴木美緒*****

By Takashi MIURA **・Tetsuo YAI ***・Satoshi MASUDA ****・Mio SUZUKI *****

1. 背景と目的

近年、都市の高密度化に伴い用地確保の問題などから高速道路を地下に建設することが多い。このような都市型地下道路では、交通量や分合流が多いことによる様々な危険性や、トンネル内特有の低視認性や視覚刺激の単調性などから来る短時間でのドライバーの覚醒水準の低下などの様々な問題が危惧されている¹⁾。この中でも覚醒水準の低下は、危険事象の発見の遅れや判断能力の鈍り、視界のぼやけなどに繋がり、事故の危険性を高めるとともに、小さな事故を重大な事故へ発展させる。都市型地下道路における短時間での覚醒水準の低下を防止する意義は大変大きい。

通常、ドライバーは眠気を感じた時点でそれに対応した行動(休憩する、注意力を増す、あるいは目を覚ます事を試みる)を取るが、地下道路において危惧される短時間での覚醒水準低下では、ドライバーが主観的な眠気を感じる時点では、既に運転上危険な状態に陥っていると考えられる。本研究では、そのような考えの下、事前に覚醒水準の低下を検知し、ドライバーに警告することの効果検証を目的としている。なお、覚醒水準低下検知・防止方法には、皮膚電位活動 (Skin Potential Activity, 以下SPAと略す) の測定を用いたバイオフィードバック手法 (以下BFと略す) を用いた。

2. 皮膚電位活動(SPA)について

(1) 皮膚電位活動 (SPA)

上記の通り、本研究では覚醒水準の評価及びその低下防止方法として、SPAを用いている。

SPAとは、覚醒水準を評価する際に用いられる指標の一つである。皮膚電位水準 (Skin Potential Level, SPL) と皮膚電位反応 (Skin Potential Response, SPR) の総称であり、精神性発汗のほとんどない基準部位に基準電極を、精神性発汗の多い手掌などに測定電極を装着することにより、測定される²⁾。SPAを測定することでドライバーの主観的判断よりも早い段階での覚醒水準の低下を検知し、それをフィードバックさせることにより覚醒水準の低下を防止することの効果を検証するのが本研究の狙いである。

SPAのBFに関しては、幾例かの研究が報告されている。例えば増田ら (2007)³⁾ は単純作業中の被験者に対するBF実験を行っており、SPAのBFによる覚醒水準維持の可能性が示されている。しかしながら、本研究のようにドライバーの主観的な眠気とSPAとの関係に着目したBF研究は行われていない。

(2) SPAの標記について

手掌に測定電極を装着した場合、覚醒水準が高い時は基準部位に対して - 50mV, - 60mV程度の値を示し、通常状態の覚醒水準では - 30mV前後、覚醒水準の非常に低下した睡眠中には - 10mV, - 5mV程度の0に近い値となる。

本研究では、SPAと覚醒水準の議論を行うため、またBF時の被験者による認識を容易にするために、これらの大小関係を統一する目的で、以後、SPAの代わりに実測のSPAに - 0.02をかけた値を用い、その値を「簡易SPA」と表現する。つまり、SPAが - 50mVのとき簡易SPAは1, SPAが - 30mVのとき0.6, SPAが0mVのとき0となる。

3. BFによる警告システムに関する検討

主観的な眠気を催す以前に警告を行うために、走行実験に先立ち、警告システム等の検討を行った。

*キーワード: 都市型地下道路, 覚醒水準, 皮膚電位活動(SPA), バイオフィードバック

**正員, 東海旅客鉄道株式会社

***正員, 工博, 東京工業大学大学院総合理工学研究科人間環境システム専攻教授

(神奈川県横浜市緑区長津田町4259 G3棟10階,

TEL045-924-5615, FAX045-924-5675)

****学生員, 東京工業大学大学院総合理工学研究科人間環境システム専攻

*****学生員, 修(工), 東京工業大学大学院総合理工学研究科人間環境システム専攻

(1) 警告の概要

覚醒水準低下に対応した警告は2種類、「警告音」、
「警告表示+音」を用いた。警告については、あらかじめ被験者が眠気を催すSPAの値(後述)と閉眼安静時のSPAの値(同)を測定しておき、それらの値を用いた3段階の警告とした。その3段階の警告は、「眠気を催す前」の警告(以後、この警告以下の領域を警告域1と呼ぶ)、「眠気を催す時点」の警告(同警告域2)、「眠気を催した後」の警告(同警告域3)の3領域である。

(2) 警告閾値の選定

警告閾値とは、それぞれの警告域の簡易SPA境界値である。眠気を催す覚醒水準には個人差があるため、事前に被験者から測定したSPAのデータを用いて警告閾値を決定する必要がある。そこで、警告を行う走行実験の前に、運転中に眠気を催す際の簡易SPAの値：Aと、仮眠により得られる簡易SPAの最小値：Bを測定し、AとBを用いて表-1の計算で警告閾値を決定した。警告閾値による警告域について、図-1に示す。

表-1 警告閾値

警告段階	基準 SPA	警告音	
-	$A + (A - B) \times 0.5$ 以上	なし	なし
警告段階 1	$A + (A - B) \times 0.5$ 以下	頻度少	緑色
警告段階 2	A 以下	頻度中	黄色
警告段階 3	$A - (A - B) \times 0.2$ 以下	頻度多	赤色

図-1 警告域イメージ図

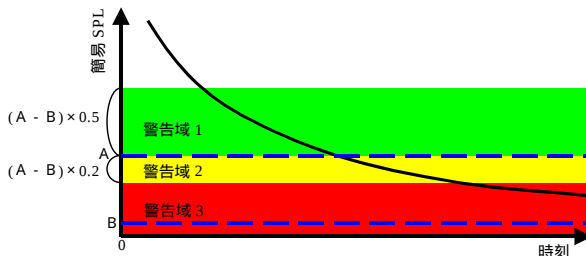


表-2 眠気尺度KSS
(Kwansei Gakuin Sleepiness Scale)⁴⁾

段階	内容	段階	内容
(1)	活力がみなぎっている	(12)	気が散り易い
(2)	精力が充実している	(13)	何となく眠気を覚めるが活動していると忘れる
(3)	能率がよい	(14)	頭がさえない
(4)	足とりが軽い	(15)	頭がぼんやりしている
(5)	視野が広いように感じる	(16)	頭がぼんやりしている
(6)	考えることが苦にならない	(17)	目がしょぼしょぼする
(7)	やや睡気である	(18)	まぶたが重たい
(8)	身体がだるくない	(19)	布団が重たい
(9)	ゆったりとくつろいでいる	(20)	眠けと戦っている
(10)	だるくもないし、ずきりもしない	(21)	知らず知らずのうちにまぶたがぐっつく
(11)	気がゆるんでいるわけではない	(22)	眠くて倒れそうである



図-2 走行画面上の警告表示
(上から警告域1、警告域2、警告域3)

また、運転中に眠気を催したときの簡易SPA：値Aに関しては、感覚の差異を考慮し眠気尺度KSS⁴⁾を参考として、独自に眠気の定義を行った。KSSで表現される眠気の中で、表-2の段階(13)「何となく眠気を覚めるが活動していると忘れる」以上の段階は、思考能力が低下し、運転にとって危険な覚醒水準の状態と定義した。この段階(13)を運転に危険な眠気の初期現象としてとらえ、被験者には身近でわかりやすい感覚として「あくびをしたい感じがある」という言葉で表現し、測定を行った。

(3) 運転中に主観的眠気を催す際のSPA測定

運転中に眠気を催す際の簡易SPA：値Aは、走行中の被験者に眠気の意味表示をさせることによって測定した。なお、測定時には意思表示の行為がSPAに影響しないよう配慮した。意思表示が複数回あるときには、簡易SPAが最も大きいものを選択した。

(4) SPAの最小値測定

SPAの最小値：値Bは、被験者を暗室で仮眠させることで計測した。仮眠は、5分以上簡易SPAの低下・平衡状態が続き、かつ、最後の1分での簡易SPAの低下量が0.1未満の状態になるまで行わせた。これは、入眠数分前に精神性発汗がほとんど消失する⁵⁾⁶⁾、また入眠後は、温熱性発汗の発汗現象が数分ないし30分で発生しだす⁷⁾ことから、簡易SPAの最小値は入眠時に取りやすいためである。

(5) 警告種類

前述の様に、警告の種類は2種類であり、警告域では警報による警告を行う「警告音のみ」、警告域では、「警告」という文字を表示することによる警告と警報による警告を同時に行う「警告表示+音」を用いた。警告域ごとに警告パターンは変化させ、簡易SPAの値が警告域1から警告域3に低下するに伴って警告音は激しくなるようにし、警告表示は色を変化させた。また、図-2に示すように、警告表示時にはSPA値の経過を示すグラフも表示した。

4. DSを用いた走行実験

以上の検討の後に、都市型地下道路走行中のドライバー覚醒水準に関する諸データ取得及びドライバーへのBF効果を検証するために、独自に開発したドライビングシミュレータMOVIC-T4⁸⁾(以下DSと略す)を用いた走行実験を行った。

(1) 実験概要

走行コースは仮想3車線地下型高速道路とし、被験者

には大型車追従走行(時速80km/h)を指示した．1回の走行時間は約11分20秒である．実験では，まず「警告なし」で走行させ，その後に「警告音のみ」，「警告表示+音」の2種類の走行を被験者により順番を入れ替えて行った．前項で検討した値A，及び値Bの計測は走行実験当日に併せて行い，警告システムに対応させた．

なお，被験者は学生28名(内1名はデータ不良のため分析では除外した)であった．

(2) 覚醒などに関する条件

実験は，覚醒水準を変化させる外因を少なくするために，1人ずつ行った．また，温熱性発汗によるSPAの誤差をできる限り減らすために，走行実験を行う実験室を22.0 に保ち，被験者に対しては以下の項目の指示を行った．実験前日に寝過ぎないようにする，実験当日は覚醒に影響の発生するカフェインの摂取は実験終了時まで禁止する，実験開始の30分前からは走る・階段を上るといった運動，及びスポーツを含めた激しい運動は禁止する，11分20秒程度の走行実験を終了する毎に覚醒水準の回復を目的に10分以上の休憩を取る，上記の休憩時間中は実験室の外に出る，上記の休憩時間中に覚醒水準の回復と温熱性発汗の防止のために5 程度に冷やした水を摂取する．

5．実験結果と考察

走行実験により，各被験者から図 - 3に示すような簡易SPAのデータが得られた．これらについて，警告することの効果，種類による効果の違い，そして警告を開始するタイミングに関して分析と考察を行った．

なお，実験時に測定されたSPA最小値を簡易SPAに換算すると - 0.0039 ~ 0.023の範囲内で，SPA最小値を0として簡易SPAを算出して差し支えないことが確認された．

(1) 覚醒持続時間に及ぼす効果

覚醒持続時間として，「警告開始後，ドライバーが主観的な眠気を感じるまでの時間」を定義する．すなわち，警告域1にあたる覚醒レベルを維持している時間である(図 - 4)．これにより，警告種類の違いによる覚醒水準低下速度の変化を評価することができる．

表 - 3に覚醒持続時間の平均値を示す．サンプル数が限られているが，警告域1において，「警告なし」と「警告表示+音」の間で有意な差が見られた．したがって，眠気を催す前に警告表示+音の警告を行うことが，覚醒水準の低下を遅延させる効果を持つことが明らかとなった．

(2) 簡易 SPA 平均値と警告閾値との差に及ぼす効果

続いて，警告後の覚醒水準低下程度を分析する目的

で，警告域1突入後の簡易SPA平均値と，警告域1の簡易SPAの閾値「 $A + (A - B) \times 0.5$ 」の差について着目した．この値が大きい値であるほど，警告によって覚醒水準が高い状態に保たれていることを示している．

表 - 4に示すように「警告なし」では - 0.075だったのに対し，「警告音のみ」では同程度の-0.072，「警告表示+音」では， - 0.016であった．またこれらについてt検定を行ったところ，「警告なし」と「警告表示+音」の間で有意水準が10%以下になり，有意な差が見られた．これより，眠気を催す以前に「警告表示+音」の警告を行うことで，あるレベルでの水準持続時間だけでなく，覚醒水準の低下程度にも差が出る結果となった．

(3) 警告域突入後の走行時間と簡易SPAの関係

さらに，警告の有無が水準上昇に与える効果を分析する目的で，警告域突入後の走行時間と簡易 SPA の推移関係について着目した．図 - 5 は，横軸を警告域に突入してからの走行時間，縦軸を突入後の簡易 SPA 平均値

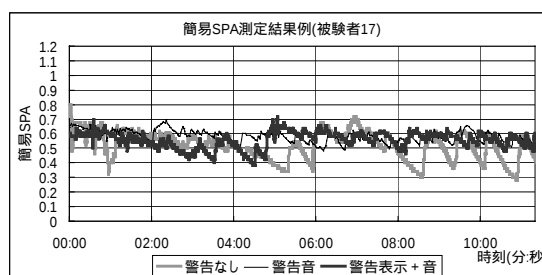


図 - 3 実験結果の例

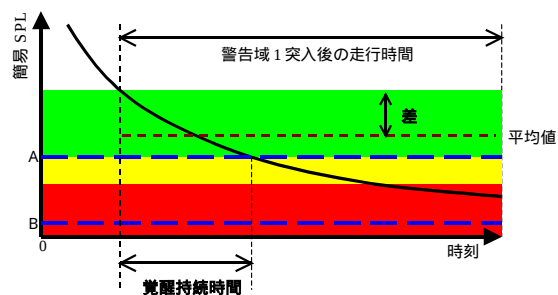


図 - 4 分析に用いた指標

表 - 3 覚醒持続時間 (警告域1)

警告種類	警告なし (n=13)	警告音のみ (n=13)	警告表示+音 (n=7)
警告段階 1 2	89 秒	135 秒	244 秒
警告なしとの比較 (t値)		1.16	2.13

表 - 4 警告域 1 突入後の
簡易 SPA 平均値 (警告閾値との差)

警告種類	警告なし (n=17)	警告音のみ (n=15)	警告表示+音 (n=12)
(簡易 SPA 平均) - (警告閾値)	- 0.075	- 0.072	- 0.016
警告なしとの比較 (t値)		- 0.119	1.54

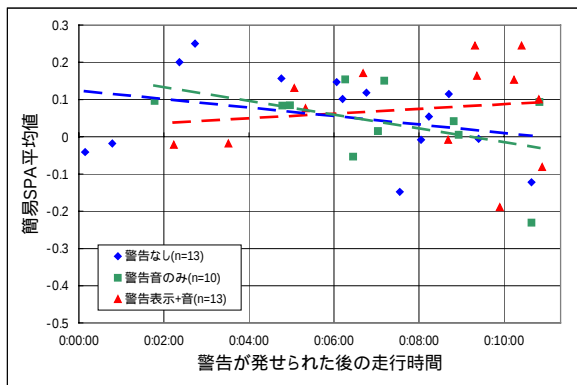


図 - 5 警告域1突入後の走行時間と簡易SPAの推移関係

(閾値との差)としてサンプル毎にプロットしたものである。点線は近似線を表し、その傾きがプラスであれば警告後の経過時間とともに覚醒水準が上昇傾向にあることを意味する。

図 - 5より、「警告なし」及び「警告音のみ」では、単調ではないものの警告後の経過時間が長いほど覚醒水準が徐々に低下する傾向が見られたのに対し、「警告表示 + 音」では、警告後10分程度が経過しても、覚醒水準が下降しているサンプルより上昇しているサンプルの方が多くみられた。これより、「警告表示 + 音」の警告を発することで覚醒水準が上昇し、さらにその上昇は警告に対して即時的なものではなく、警告後10分間程度の走行で効果が認められる可能性があることが示唆される。

(4) 警告の種類に関する考察

以上の実験結果から、警告の種類による効果の違いが明らかとなった。覚醒持続時間、及び警告後の平均SPA、走行時間との関係、いずれにおいても、「警告表示 + 音」による効果が確認される一方で、「警告音のみ」による効果は確認されておらず、これは警告の種類について、その選定の重要性を示す結果であると言える。本実験においては、両者を分けたものは警告の表示とSPA推移グラフの表示である。このことから、色による視覚刺激の危機刺激性、あるいは推移グラフによる詳細なフィードバックが、ドライバーの覚醒意識を促す効果が高いのではないかと考えられる。

なお、警告の種類については、今後本実験では行えなかった「警告表示のみ」との比較や、異なる種類の警告についても検討していく必要があるだろう。

(5) 走行開始時から警告領域だった標本の簡易SPA平均

警告開始時点で既に簡易SPAが警告領域であった(すなわち、警告するタイミングが意図した時点より遅くなり、既に眠気を感じる状態であった)サンプルを抽出し、走行における簡易SPA平均値(表 - 5)より警告の効果を分析した。表 - 5より、警告を行った際の平均値が「警告

表 - 5 走行開始時から警告領域だった標本の簡易 SPA 平均値

警告種類	警告なし	警告音のみ	警告表示 + 音
簡易 SPA 平均	0.395	0.466	0.446

なし」の平均値を上回っていることがわかる。しかしながら、これらについて統計的に有意な差は認められなかった。上記の分析結果を合わせれば、この結果から、既に眠気を催している段階での警告は、それを催す以前に行う警告に比べその効果が低いといえることができる。また、眠気を催す前の警告をどのSPA値で発するのがより効果的か、さらなる検討が必要である。

6. 結論

本研究より、限られたサンプルからではあるが実験により得られた知見を以下に並記する。

- 眠気を催す前に警告を行うことで覚醒水準の低下を抑え、水準維持を促すことができる。また、水準を上昇させる可能性も示唆される。
- 警告の種類としては「警告表示 + 音」において十分な効果が確認された。
- 眠気を催す以前での警告に効果が確認された。

以上より、閉塞空間特有の短時間に起こる覚醒水準低下現象に対して、ドライバーが主観的な眠気を感じる以前に警告を行うことの有効性が示されたと言える。しかしながら本システムの実用化に向けては、より効果的な警告方法や警告のタイミングの検討、SPA計測器具の簡便化等の課題が挙げられるのが現状である。冒頭でも述べたよう、今後も増加していくであろう地下道路という閉塞空間における事故を防ぐ事の意義は大きく、更なる技術開発が期待される。

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) 新見良純ほか：皮膚電気活動，星和書店，1986。
- 3) 増田智志ほか：地下道路における覚醒水準と運転挙動，第36回土木計画学発表会講演集，2007。
- 4) Ishihara, K., Saito, T. and Miyata, Y. : Sleepiness Scale and an Experimental Approach, Jpn. J. Psychol., 52, pp.362-365, 1982。
- 5) 小川徳雄：睡眠と発汗，臨床脳波，8，pp.282-290，1966。
- 6) Ogawa, T., Satoh, T. and Takagi, K. : Sweating during Night Sleep, Jpn. J. Physiol., 17 : pp.135-148, 1967。
- 7) Geschickter, E. H., Andrews, P. A. and Bullard, R. W. : Nocturnal Body Temperature Regulation in Man : a Rational for Sweating in Sleep, J. Appl. Physiol., 21, pp.623-630, 1966。
- 8) 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。