

自動車運転シミュレータにおける覚醒度の評価

新領域創成科学研究科 人間環境学専攻

56795 十名 敦史 2007 年 3 月修了

指導教官 佐々木 健 教授

We evaluate the driver's drowsiness level in the driving simulator by lane deviation. In this research, the correlation between lane deviation and drowsiness level evaluating from face is improved by three methods that distinguish between lane deviation occurring naturally in the curve running and that by low drowsiness level. One method is that we eliminate the frequency component synchronous to shape of the curve. Second is that we evaluate the amount of steering wheel control. Last one is that we evaluate the time that lane deviation is more than definite value. Lastly, we evaluate awakening effect of stimulation - vibration of the seat belt and fan by these method and electrocardiogram.

Key words: Driver's Drowsiness, Drowsiness Level, Lane Deviation, Electrocardiogram

1. 緒言

近年、自動車の高性能化にもかかわらず事故は依然として多く、人為的なミスに起因するものがその大半を占めているとみられる。運転者の覚醒度の低下をリアルタイムに検出して運転者に働きかけることができればミスを未然に防ぐ事ができ、安全面から有効である。

本研究では運転者の生体情報から覚醒度をリアルタイムで計測、評価し、物理的刺激によって覚醒させるシステムの構築を目標としている。ドライビングシミュレータを用いた実験では、緩やかに左右交互にカーブする単調な高速道路を走行するタスクを被験者に与える。覚醒度が低下すると走行軌跡が車線の中央からずれる量が増大するという仮定に基づき、車線ずれを覚醒度の評価指標として用い、覚醒低下を自動判定するアルゴリズムをシステムに実装した。

被験者の顔画像の観察に基づく5段階での覚醒度評価(以後顔画像評価とする)は主観評価との相関が最も高いとされる¹⁾が、車線ずれの大きさと顔画像評価との相関は0.55に留まり、今後のシステム開発において車線ずれを覚醒度の指標とすることに問題が残されていた。

そこで本研究では車線ずれ量から覚醒度を評価する精度の向上を目指して3つの解析手法を提案した。またこれらの車線ずれ指標および心電図を用いて物理的刺激の覚醒促進効果を評価した。

2. 自動車シミュレータによる実験環境構築

本研究で用いたドライビングシミュレータは

実車のダッシュボード、ハンドル、シートを使用し、前面に設置したスクリーンにコンピュータで作成した走行路面をプロジェクタで投影する構成である。コース形状は正弦波状に緩やかに左右交互にカーブする形状とし、単調さを増すために呈示画面中に他の車は存在しない走行条件とした。

3. システムの評価実験

3.1 実験プロトコルの設定

本研究では、覚醒促進刺激として、首筋への送風と、シートベルトの振動による刺激を用いた。首筋への送風は20秒間隔のON-OFFを繰り返す。シートベルト振動は基礎実験によって強・弱2種類の振動パターンを選定した。

また、実験を効率よく確実に行うために、実験を8段階のフェーズに区切り、自動判定によって実験が進行するというシステムを構築した。フェーズ移行時に刺激が与えられる。各フェーズにおける覚醒促進刺激をTab.1に示す。自動判定に用いる指標は車線ズレ量を用いた増大判定手法とRoot Mean Square(RMS)を用いた手法を採用した。増大判定はF検定によって覚醒状態と車線ズレ量の分布を比較するもので、閾値をF検定における有意水準0%($p < 0.00001$)にした。またRMSを用いた手法は(1)式において $Wp_{rms}=1.2$ を閾値とした。

$$Wp_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (W_{Pi} - W_{Phase})^2}{N - 1}} \quad (1)$$

Tab.1 Stimulation at each timing

Transition of the phase	Stimulation
1→2	Weak vibration
2→3	Fan
3→4	Weak vibration + Fan
4→5	Nothing
5→6	Strong vibration
6→7	Strong vibration + Fan
7→8	Strong vibration + Fan
8→End	Nothing

3.2 システムの評価実験

上記の自動判定システムを用いて多人数での実験を行った。また実験全体での効果をみるために、刺激を全く与えない実験を行い比較した。

その結果、自動判定によってスムーズなフェーズ移行が行われた被験者において、全フェーズをクリアする時間が、刺激を与えない場合に比べて平均約 10 分間長くなった。

しかし、覚醒低下により車線ずれ量が車線を越えるレベルになっても自動判定から覚醒低下を検知できず、実験フェーズがスムーズに移行しない例や、顔画像評価や実験後のアンケートでは、刺激の覚醒効果が確認されているにも関わらず、その効果が車線ずれ指標には表れていないケースがあり、車線ずれの覚醒度評価指標の精度に課題を残した。

4. 車線ずれを用いた覚醒度評価手法の提案

車線ずれ量による覚醒度評価指標と顔画像評価との相関を高めることを目指して、3 つの解析手法を提案する。

4.1 道路に同期した周波数成分の除去

十分に覚醒している状態においてもカーブ走行では車線ずれが発生しているが、その変化はコース形状に同期している。覚醒度がやや低下した段階ではコース形状と無関係な車線ずれが発生し始めるが、その値は覚醒状態の車線ずれと同程度である。RMS は時間の経過に無関係な統計量であるため、分布が同程度の場合、要因の異なる車線ずれを識別することは難しい。

本シミュレータの道路は周期 43 秒でサインカーブを描く。このとき、Fig.1 の青い線が示すように覚醒度の低下による蛇行と思われる車線ずれ（図中、左側の円内）と、滑らかにカーブを走行しているときの一定の車線ずれ（図中、右側の円内）が観察される。カーブは左右に均等に曲がるコースなので、カーブを滑らかに走行するときの車線ずれは、覚醒度が低下してい

ない状態でも RMS 値を増加させる。したがって、車線ずれからカーブに同期した成分を除去することで、覚醒度の低下に起因する車線のずれを抽出することが可能となると考えられる。

Fig.2 はある被験者について、実験中の覚醒度が異なる複数の時間帯における車線ずれの周波数成分を示したものである。覚醒度の違いに依らず、コース形状の周波数 0.023Hz（周期 43 秒）に同期したパワーが大きいことが分かる。この結果に基づき、0~0.06Hz の周波数成分を除去した車線ずれを比較した結果、Fig.1 に示すようにカーブに同期した定常的な車線ずれは小さくなるが、急なハンドル操作による車線ずれは保存されている結果を得た。

9 名の被験者における車線ずれ量の周波数除去データの RMS と顔画像評価との相関係数の平均値は 0.65、標準偏差は 0.12 となった。十分に覚醒した状態の運転に伴う車線ずれを取り除くことにより、解析の精度は向上したと考えられる。

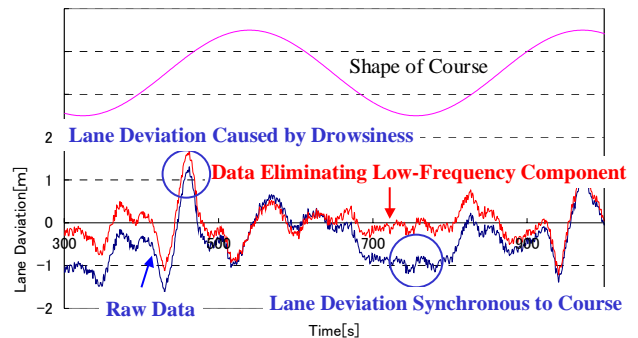


Fig.1 RMS of raw data and data eliminating frequency component

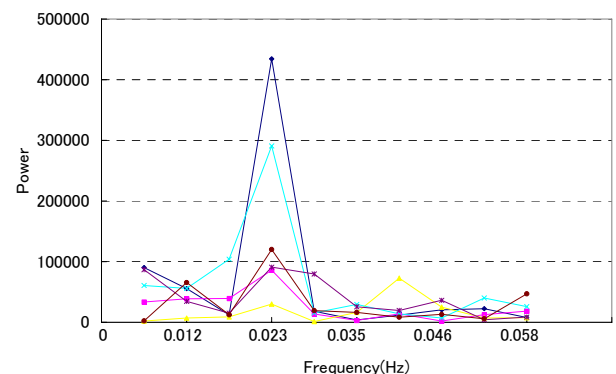


Fig.2 Frequency component of lane deviation

4.2 ハンドル操作量

被験者がハンドルをある方向に切ってから次に逆の方向に操作するまでに車体が左右に移動

する距離(Fig3 参照、以下ハンドル操作量とする)を覚醒度の指標として評価する。覚醒度が低下すると細かなハンドル操作が困難になりその分ハンドル操作量も大きくなることが確認される。本指標では右よりや左よりの運転といった各被験者の癖を補正する効果がある。9名の被験者におけるハンドル操作量と顔画像評価との相関係数の平均値は0.62、標準偏差は0.12となった。周波数除去データの平均値は0.63、標準偏差は0.14となった。

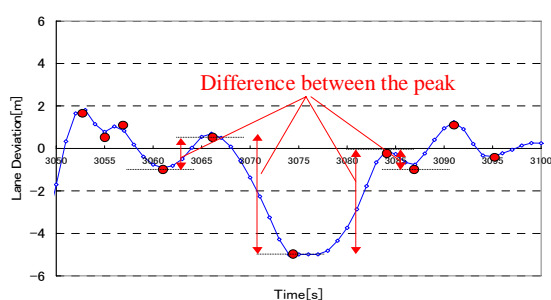


Fig.3 Difference between the peak

4.3 車線逸脱時間

覚醒度が低下すると、道路中央線から逸脱していると被験者が判断してハンドルを操作するまでに要する時間(Fig2 参照、以下車線逸脱時間とする)が覚醒時よりも長くなることが確認される。本節では車線逸脱時間を覚醒度指標として評価する。車線が逸脱していると判断する車線ずれの閾値(Fig2 参照)は個々に覚醒時の車線ずれ量から設定し、個人差を制御した。本指標では、ハンドル操作に時間を要する覚醒度が低下した状態での車線ずれと、すぐに修正可能な単純ミスによる車線のずれとの区別が可能となる。9名の被験者の車線逸脱時間と顔画像評価の相関係数の平均値は0.53(標準偏差0.11)に留まったが、周波数除去データの解析を行うことで0.59(標準偏差0.11)まで高めることができた。

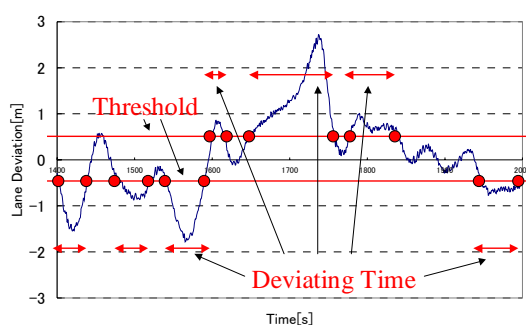


Fig.4 Deviating time

5. 心電図を用いた覚醒度評価

4章で提案した車線ずれ指標は顔画像評価の相関を改善することができたが、依然として浅い眠覚醒レベルの評価に課題を残した。本章では浅い覚醒レベルの評価を目的とした心電図の解析方法について述べる。

5.1 心拍数

一般に覚醒度が低下すると、数分から数時間のオーダーで心拍数も減少する傾向を示すと言われているが、外的な刺激を受けるなどして一時的に緊張状態に陥ると、交感神経が活発になり、心拍数は増加する。本システムにおいても、覚醒促進刺激によって覚醒が促されれば、交感神経が活発になり、心拍数は一時的に上昇すると考えられる。つまり刺激前後の心拍数を比較し、緊張の度合いを調べることで、瞬時的な覚醒促進の効果を検討することが可能となる。

5.2 HF

心拍揺らぎ(心拍数の時間間隔の変動成分)の特定の周波数成分(=0.15~0.4Hz)をHF (High Frequency:心拍ゆらぎの高周波成分)という。HFは自律神経系のうち副交感神経活動を反映している。居眠りの兆候が出始めると、交感神経活動が抑制され副交感神経の活動が活発になり、HFの連続的な上昇が確認される。先行研究でも、HFの連続的な上昇から眠気の発生を検出できるという報告がある²⁾。

6. 覚醒促進刺激の定量的評価

提案した各車線ずれ指標および心電図を用いて刺激の覚醒促進の効果を定量的に評価する。

6.1 t検定を用いた刺激前後の比較

本手法では、刺激駆動直前の15秒間のデータを覚醒低下時のデータとし、そのデータを基準に刺激駆動後の15秒間のデータをt検定によって比較し、覚醒低下状態にある(刺激駆動直前のデータを5%有意水準で同じ分布に属する)と判定されるまでの時間を刺激による覚醒持続時間として評価する。本手法を用いて、車線ずれ量生データのRMS、周波数除去データのRMS、ハンドル操作量のRMSを評価した。

6.2 車線逸脱時間を用いた評価

覚醒促進刺激を駆動してから、一定時間以上の逸脱が始まるまでの時間を覚醒持続時間とした。閾値は顔画像評価との対応から、実験フェ

ーズ1から4においては覚醒促進刺激を駆動してから2秒以上の逸脱が始まるまでの時間、実験フェーズ5から8においては3秒以上の逸脱が始まるまでの時間とした。先に述べたように周波数除去による効果が大きかったため、周波数除去を行った後のデータを評価した。

6.3 HFを用いた評価

覚醒促進刺激を駆動してから、HFが30秒以上の連続的な上昇が始まるまでの時間を覚醒持続時間とした。

6.4 評価結果と考察

評価には先に述べたシステムの評価実験において、覚醒低下によってスムーズにフェーズ移行が行われた8名のデータを用いた。心拍数およびHFによる評価結果をFig.5に、各車線ずれ指標による評価結果をFig.6に示す。ここでHRは、刺激によってもたらされる一時的な緊張状態の持続時間(数十秒オーダーでの瞬時的な効果)、HFは、刺激による一時的な緊張の後に催される眠気発生の時点の測定、車線ずれ量を用いた指標は、刺激による緊張(HR上昇)、眠気の発生(HF上昇)の後に、実際に覚醒度が低下し、刺激駆動前の水準まで覚醒度が低下するまでの時間の測定に用いる。

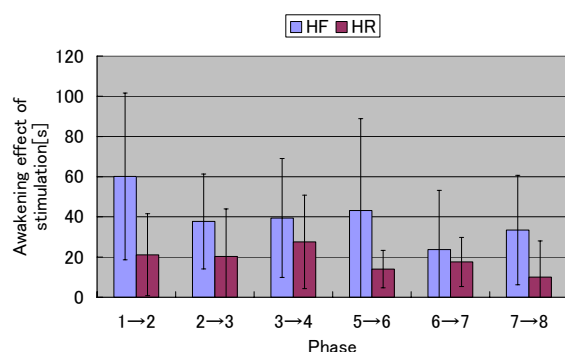


Fig.5 Awakening effect of stimulation

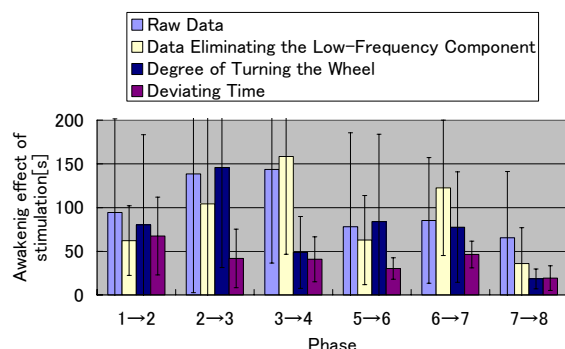


Fig.6 Awakening effect of stimulation

まず、Fig.5のHRの評価結果より、刺激によってもたらされる緊張状態の持続時間は、いずれのフェーズ移行時においても概ね20秒前後であったがフェーズ7から8においては約10秒まで短くなった。またFig.5のHFの評価結果より、刺激を駆動してから眠気の発生が生じるまでの時間は、覚醒レベルが高いほど長く、また刺激の種類の比較ではシートベルトの単独での振動が最も長かった(約60秒)。

Fig.6の車線ずれ指標の評価結果より刺激を駆動してから眠気の発生が始まり、さらに覚醒レベルが刺激駆動前のレベルまで低下するまでの時間はシートベルトの単独での駆動(約60秒から80秒)よりも空調および空調とシートベルトの同時駆動(50秒から150秒)のほうが全体的には長い傾向となった。

これらの結果より、比較的浅い眠気レベルでは60秒から120秒毎に刺激を組み合わせせて駆動し、比較的深い眠気レベルでは40秒から60秒毎に刺激を組み合わせせて駆動することで、覚醒レベルを維持できる可能性が示された。

7. 結論と今後の展望

運転シミュレータを用いた被験者の覚醒度の変化に対する車線ずれの解析において3つの解析手法を提案し、それぞれにおいて主観評価との相関が最も高いとされる顔画像評価による覚醒度と車線ずれのRMSの相関を改善できた。また各車線ずれ指標と心電図を用いてシートベルトおよび空調の覚醒促進効果の評価によって、比較的浅い眠気レベルでは60秒から120秒毎に刺激を組み合わせせて駆動し、比較的深い眠気レベルでは40秒から60秒毎に刺激を組み合わせせて駆動することで、覚醒レベルを維持できる可能性が示された。

文献

- 1) 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)委託 社会法人人間生活工学研究センター、生理指標化技術の研究開発、人間感覚計測応用技術の研究開発委託研究成果報告書 第Ⅱ編本論編、1996
- 2) 柳平 雅俊, 安士 光男: 運転状態推定技術の開発-心拍解析による眠気状態の検出-, PIONEER R&D, Vol.14, No.3