

2008年1月9日

人間科学研究科長 殿

## 三品 誠 氏 博士学位申請論文審査報告書

三品 誠氏の学位申請論文を下記の審査委員会は、人間科学研究科の委嘱を受け審査をしてきましたが、2007年12月17日に審査を終了しましたので、ここにその結果を報告します。

### 記

1. 申請者氏名 三品 誠
2. 論文題名 心拍変動解析の運転シミュレーター研究への応用
3. 本文

#### 3-1 本論文の主旨

近年、表示面積の大きい画像表示装置が一般化しつつある。また、コンピュータグラフィックスやシミュレーション技術の進展により、表示される映像も大きな没入感が感じられるようになってきた。こうした技術は、自動車、航空、鉄道、原発などの教育訓練シミュレーターなどに盛んに用いられるようになってきた。しかし、乗り物酔いに類似した映像酔いやシミュレーター酔いが問題になっている。映像の安全性に関する基準を保ちながら、高い教育効果を持つとともに酔いにくいシミュレーターが求められている。

主観的な不快感が主な症状である酔いをモニターし、時系列的に評価する手段として心拍変動などの生理指標による方法が提案されている。しかし、シミュレーター運転や映像視聴では、「酔い」と無関係な精神生理学的反応が誘発される場合もあり、「酔い」症状だけに選択的反応を示す単独指標は見出されていない。

本論文は、擬似環境を利用する運転者教育システムにおいて、高い教育効果と利用の快適性を両立させることを目的とし、心拍変動解析の運転シミュレーター研究への応用、特にシミュレーター酔いへの応用について検討するものである。

#### 3-2 本論文の概要

第1章では、本論文の概要が述べられている。本研究の社会的背景、先行研究の現状、生理指標分析システム、シミュレーター酔いに関する研究、実車運転中の呼吸・心拍・脈波の同時測定および総合的考察と課題が簡潔に纏められている。

第2章では、本研究で用いられる生理指標の分析システムの概略が述べられている。このシステムは、心拍、呼吸および脈波から複数の生理指標を系統的に求めるものである。従来から用いられている心拍変動の周波数分析による指標に加えて 瞬時心拍間隔 (RRI) と呼吸

との相互相関 ならびに RRI と脈波伝播時間との相互相関を算出することを可能とした さらにこれら全ての指標を時系列的に分析する機能を有するものである。

第3章では、シミュレーター酔いに関する実験的検討結果が述べられている。運転者教育に用いられるシミュレーターを用いて、シミュレーター酔いの発生状況と対策による軽減の可能性、生理指標と酔いの相関および運転場面と呼吸心拍相互相関との関連が検討されている。

シミュレーター酔いの発生状況は質問紙による測定の結果、男性より女性において大きいことが確認された。また、画面に縞状フィルターを表示することで、女性の酔いが軽減されることが認められた。次に、酔いの主観評価と生理指標との関連を検討した結果以下のことが明らかとなった。①主観評価と心電図基線変動との間に相関が見られた。特に、吐き気との相関が大きかった。②心拍の R-R 間隔のパワーは、女性のみ主観評価の各指標との相関が有意であった。③心拍 R-R 間隔の LF (低周波域: 0.04~0.15Hz) 成分が女性のみ主観評価の眼球運動、方向感覚の失調および酔いの全体的傾向との相関が有意であった。さらに、実験セッション間の差を呼吸心拍 RRI 相互相関が負の最大値になる CPCC (Cardio-Pulmonary Cross Correlation) の平均値により比較した。2回のシミュレーション走行、3回の安静時の間で、CPCC の平均値は1回目のシミュレーション走行が同一コースを走行する2回目よりも有意に高く、2回の走行間の安静時は走行前安静時よりも有意に高かった。これは1回目のシミュレーション走行の方が2回目よりも副交感神経活動度が低いことを示すが、シミュレーション酔いの主観評価と CPCC の相関は有意ではなかった。したがって、CPCC はシミュレーション酔いとは異なる要因である運転場面に対する緊張・ストレスを反映していることが示唆された。

走行場面属性毎に CPCC, RRI および LF/HF (高周波域: 0.15~0.4Hz) の値を検討すると、道路直線部の走行時に比べ、信号有りの交差点での右左折時の CPCC と LF/HF は有意に大きく、RRI には差が認められなかった。特に、運転に必要な情報処理量が増大するような場面において、CPCC は大きな値を示すことを明らかにした。

第4章は、シミュレーター実験での分析方法を実車走行データに適用し、実車走行への適用可能性を検討している。これは、映像技術を利用した際の「リアルさ」を自律神経系の活動度によって比較評価する試みの第1段階である。ここでは、呼吸、心拍、脈波データから、副交感神経系に対応する呼吸心拍相互相関と交感神経・副交感神経系に対応する脈波心拍相互相関の最大値 ( $\rho$  max) の時系列データを算出している。その結果、CPCC が比較的大きな値を示した走行場面は歩道と中央分離帯がある道路環境であり、 $\rho$  max がピークを示すのは走行—減速—停止の場面と対応していた。このことから、交感神経系・副交感神経系の活動度を独立に評価するため、呼吸・心拍・脈波の相関分析が有用であることが示唆された。

第5章は総合的な考察と課題である。本研究を通して構築した心拍呼吸脈波同時測定による生理指標分析システムが、自律神経系活動度の推定などに利用でき、これを用いてシミュレーター酔いの現状と予防可能性、酔いと生理指標との相関に関する知見を得たことを述べている。そして、酔いに相関する生理指標と、酔いから影響されにくい運転場面依存の生理指標を明らかにし、さらに画面内静止参照枠による酔い軽減効果を示したことにより、酔い防止研究へ向けた基礎が出来上がったとしている。今後、シミュレーターなどの疑似環境の

物理的条件や学習効果を検討することが課題であることを述べている。

第6章は結語であり、生理指標分析システムの構築により「リアルさ」評価へ向けた環境が整備され、シミュレーターを用いた教育の効果に関する研究の体勢が整った。今後の課題はこれらの基礎成果を応用した、より実践的な研究を通して効果的で快適な教育方法を実現することであるとしている。

### 3 3 本論文の評価

本論文は、最近大きく発展し、航空、自動車、鉄道などに用いられているシミュレーターに関し、その負の側面であるシミュレーター酔いの防止に向けた研究である。実際にシミュレーターを用いる人にとって、酔いはその学習効果を失わせるため、その防止は重要な課題である。本研究では、自動車運転教育用シミュレーターを用い、酔いを主観尺度と生理指標により同時測定することで、生理指標と酔いの関連を検討している。その際、画面上に縞状フィルターを示すことで酔いの低減効果があることを示し、アドホックな対策として酔い防止が可能であることを示した。多くのシミュレーターはすでに稼働済みであるので、こうした対策は実用的な面で非常に有効と考えられる。

生理指標に関しては、従来から自律神経系の指標として用いられている心拍変動の周波数分析に加えて 瞬時心拍間隔 (RRI) と呼吸との相互相関 (CPCC) が、酔いとは独立した要因である運転場面に対する緊張・ストレスを反映していることを明らかにした。また、実際の道路での走行時においてもこれらの指標が有効なことを示した。今後、シミュレーターによる教育は増加すると考えられるが、酔いを防止すると同時に、生理的な評価により、より現実感の高いシミュレーター開発の基礎的データを提供できる方法論が確立されたと言える。

本論文の審査委員会は、以上の考察から本論文が博士 (人間科学) を授与するに十分値すると判断した。

### 4. 三品 誠 氏 博士学位申請論文審査委員会

主任審査員	早稲田大学	教授	博士 (人間科学) (大阪大学)	石田敏郎
審査員	早稲田大学	教授	医学博士 (東邦大学)	山崎勝男
審査員	早稲田大学	教授	博士 (工学) (早稲田大学)	藤本浩志
審査員	早稲田大学	準教授	博士 (工学) (早稲田大学)	百瀬桂子