倒立二輪型車両乗車中の快感情評価に関する研究

日大生産工(院)　○ 三上 耕司
日大 景山 一郎　栗谷川 幸代

1. 序　論

自動車産業において，社会ニーズの多種・多様化により，企業間における開発技術水準の差は小さくなりつつある．このような状況下で，他社製品との差をつけようと，乗り味や車内空間の快適性などを吟味し，人間の感性に訴えかけるような商品を創ろうとする傾向が目立つようになった．そのような中で，近年ではドライビングプレジャー[1)]という言葉が浸透しつつあり，人間の感情のなかでもポジティブな感情を対象とし，評価することも検討されている．しかしながら，これらの感情を評価する試みは，これまで開発者や研究者の主観のみで行われてきたという問題点がある．

そこで本研究は，ドライビングプレジャーなどの乗り物乗車時の楽しさを客観的かつ定量的に評価することを目的とし，ドライバの緊張状態やストレス評価などでも用いられる生体反応を利用した快感情評価の可能性について検討を行う．

2. アクティブな快 と 倒立二輪型車両

2.1. ドライビングプレジャーとアクティブな快

ドライビングプレジャーという言葉は，様々な運転場面の楽しさを指した包括的なものである．たとえば，‘人馬一体感’や‘思い通りに操る喜び’といった運転操作に伴って表れる楽しさや，‘家族とのドライブ’や‘居心地の良さ’などの車内空間における楽しさなど，数多くあげることができる．これらは，その運転場面に左右されるものであり，また個人によっても大きく異なるものであると考えられる．よって，本研究では，前者のような意欲的な運転操作の結果表れる楽しさに焦点をアクティブな快と定義し，評価対象とする．

2.2. 倒立二輪型車両 SEGWAY™

2.1.節でドライビングプレジャーが多くの意味合いを含む言葉と説明したが，人間が乗り物を乗るときに感じる楽しさは，対象とする車両にも影響を受けると思われる．四輪車や二輪車は，多くの人々にとって見慣れている身近な乗り物であり，その車両に対する感情やイメージには個人差があると考えられる．

このような，個人間における車両に対する偏見を取り除くために，人間の体重移動による操作という，全く新しい操縦を要する新奇な乗り物であると考えられる倒立二輪型車両 SEGWAY™ を本研究での対象車両とした．また，既存の車両よりも楽しさを多く生むであろうと予測できることも選択理由として挙げられる．

3. 車 両 追 従 実 験

SEGWAY™ 乗車中の楽しさを検討するために，乗車タスクを 4 段階に大別してこれまで検討を行ってきた．段階は，楽しさや他の感情を検討することを目的とし①乗車前における未見時と初見時の感情をとらえる乗車前段階と②初乗車時や乗降のみを行う乗車初期段階，③簡単な前後進や停止，転回および自由走行を行う乗車中期段階，④コース走行におけるタイムレースや障害物コース走行の乗車後期段階に設定し，実験は習熟度を考慮しなければならない④の後期段階を除く①～③を連続的に被験者に対して行った．

その結果，主観評価により得られた楽しさの度合いがタスクにより切り替わり，タスクが変化するごとに上昇する傾向が 15 名の被験者のほとんどから見られた．これより，タスクによって楽しさの対象となる要因を被験者内で切り替

Study on Evaluation for Pleasant-Feeling during Inverted Pendulum Vehicle Riding

Koji MIKAMI, Ichiro KAGEYAMA, Yukiyo KURIYAGAWA

えていると推察できる. また, 同一タスク内で楽しさの度合いが変化していることより, タスク内でも楽しさの要因を変化させている可能性がある.

よって, 本検討では, 後者の同一タスクにおける楽しさの要因変化と, そのときの生体反応変化について検討することを目的とし, SEGWAY™ による前方車両追従実験をタスクとして設定し, 検討を行う. 同一タスクで行うことによって, 一定環境下での検討が可能と考えられる.

3.1. 実験条件

走行距離 100m の直線前方車両追従実験を行う. 前方車両には国産普通乗用車を用い, 最高速度 10km/h の一定速度とした. 前方車両と SEGWAY™ との初期車間距離は 5m とし, 停車状態から走行を開始した. 前方車両の加減速は緩やかに行い, 100m 走行後は減速し停車させた. 被験者へは,「スタート時の車間距離を保ったまま走行するように」とだけ教示し, ほかの情報は一切与えない状況で実験を繰り返し行った.

3.2. 計測項目

3.2.1. 主観評価

走行回数ごとに, 主観を定量的に評価できる VAS を用いて, 楽しさの度合いと前方車両との距離を保つことができたかの車間距離調整度を被験者に評価させた.

さらに, 実験における楽しさの要因とその構造を明確にするために, あらかじめ作成しておいた楽しさの要因として考えられる 4 つの項目について, 一対比較を行った. 項目はⒶSEGWAY への興味, Ⓑ操作方法, Ⓒ乗車感覚, Ⓓ操作能力であり, 被験者間の言葉の解釈を統制するために, それぞれの項目について具体例を挙げて説明を行った. 上記 4 つの項目から 2 つの項目を取り出し, 被験者に対して一対ずつどちらの方が楽しさの要因としてどのくらい大きいかを聴取し, すべての組み合わせについて, 乗車ごとに評価を行った.

表.1 SEGWAY計測項目

Sensing Element	Measurement Items
Gyro	X-Axis Acceleration, Y-Axis Acceleration Z-Axis Acceleration Roll Rate, Pitch Rate, Yaw Rate Roll Angle, Pitch Angle, Yaw Angle
Encoder	Left Wheel Velocity Right Wheel Velocity
Tactile Censor	Load Shift
CCD Camera	Front View, View

3.2.2. 車両状態量

SEGWAY™ の計測項目を表.1に示す. 走行状態の楽しさを検討することから, 走行時を判断できる車輪速度や進行方向加速度などの項目によりデータを抽出した.

3.2.3. 生体反応計測項目

生体反応の計測は緊張やストレス, 覚醒度などの評価で知見が多く, 測定が容易で, 被験者の快感情に影響をさほど与えないと考えられる末梢神経系の自律神経系の活動を計測した. 自律神経系の反応は, 胸部電極法による心電位とサーミスタによる呼吸曲線を計測した.

3.3. 被験者

上記条件において, 被験者 1 名に対して実験を行った. 被験者は 20 代前半健常成人男性である.

3.4. 実験終了条件

実験は, 被験者に対して繰り返し行うが, 実験の終了は VAS による被験者の楽しさの度合いが低下し, 一定の値で収束した乗車回数で終了とした. また, 楽しさが低下しない場合は, 楽しさの度合いが収束した乗車回数で終了した.

4. 実 験 結 果

図.1 に楽しさと距離調整度合いの結果を示す. 被験者は最低でも 60%以上の楽しさを示していることから, 乗車中に楽しさを十分に感じていることがわかる. また, 特徴が見られるのは, 乗車 6 回目には楽しさと距離調整達成度が逆転し, 距離調整度が上昇しても, 楽しさが下降しているのが見られることから, 前車追従タスクの達成度が楽しさの要因ではなくなったことが推察される.

それを詳細に見るために, 図.2 に楽しさの要因の重要度を算出したグラフを示す. これを見ると, 楽しさの要因が乗車回数を追うごとに変化しているのがわかる. 乗車 1 回目と 8 回目では, SEGWAY への興味と操作能力が大きく異なっている. また, 図 1 の楽しさの度合いで, 乗車回数 2

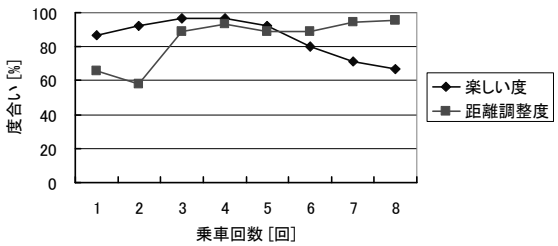

図.1 楽しさと距離調整度

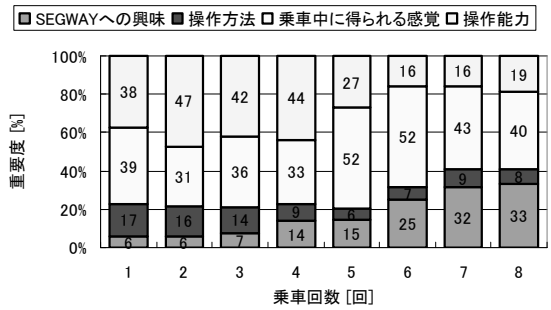

図.2 楽しさの要因

回目と 5 回目は約 90%という同程度の値をとっているが，このときの楽しさの重要度を見ると，乗車感覚と操作能力に明らかに違いがあることがわかる．このことより，同程度の楽しさを示していても，その楽しさの要因に違いがあるということが 2 つのグラフからわかる．

上記のような要因の変化が，生体反応の変化でとらえられないか，以下で検討を行う．

4.1. 生体反応解析

自律神経系反応は緊張やストレスなどで活性する交感神経系と，リラックスなどで活性する副交感神経系の活動が見られる．SEGWAY™ 乗車時の楽しさが，これらの自律神経系との活動により，評価することができないかを検討するために，交感・副交感神経の活動を反映する心拍の周波数解析結果から検討を行う．呼吸も心拍変動に影響を与えるため，併せて検討を行う．

I. 心拍解析法

得られた心電位(ECG)から，R 波を検出し，R-R 間隔を算出する．算出した R-R 間隔をスプライン補間により 1000Hz のデータを作成する．周波数解析を行うため，トレンド除去を行い，ハミングウインドウによる窓関数処理を施す．交感・副交感神経系の両方の活動を現すとされる血圧変動性成分(MWSA)を含む 0.07～0.14Hz の低周波帯域成分(LF)のみを強調させるバターワース特性のフィルタを，位相遅れがないように順方向と逆方向からかける．同様に，副交感神経系の活動を現す呼吸性不整脈(RSA)を含む 0.15～0.5Hz の高周波帯域成分(HF)に関しても処理を行う．それぞれに対してパワースペクトル密度(PSD)のピーク値とピーク周波数算出し，本検討での指標とする．一般的には，上記のようなピークを用いる方法と，ピーク値周辺のパワーを積分する方法の 2 つがあり，その使い分けは呼吸周波数の変動に依存するが，ここでは呼吸周波数がほぼ一定であることから，ピークを代表値とする方法を選択した．

算出した HF は，副交感神経系の活動を反映するため，リラックス状態で上昇すると一般的に言われている．また，交感神経系と副交感神経系の両方の支配を受ける LF は，緊張やストレスなどで値が上昇するとも下降するとも言われている．

II. 呼吸解析法

呼吸曲線から吸気ピークと呼気ピークを検出し，吸気時間(Ti)と呼吸時間(Tt)を求め，その比であるタイミング(Ti/Tt)という指標を用いる．タイミングは，1呼吸サイクルにおける吸気時間の割合，すなわち吸気ニューロンの発火時間の割合を示す．急激なストレス刺激などに対して反応を示す指標であり，本検討の楽しさには影響が出ないと思われるが，心拍変動の解析結果の解釈には呼吸活動の指標が不可欠であるため，心拍の周波数解析の結果と併せて検討を行う．

5. 解 析 結 果

上記解析手法によって算出した結果を以下に示す．ここで，乗車回数 1，4，5 回目に関して，実験の計測不備により，車両状態量と生体反応データの統合ができないため，結果から外して検討を行った．

5.1. 交感・副交感神経の変動

解析により得られた呼吸タイミングの結果を図.3 に示す．タイミングは予想通り，安静と比較しても大きな変化は現れておらず，急激なストレス反応などは見られない．また，呼吸様式が変動していないと見ることができるので，心拍の解析結果についても呼吸の変動による心拍への影響をさほど考慮しなくても良いと思われる．

走行中のデータを抽出し，解析によって得られた心拍 PSD とピーク周波数の結果を図.4 に示す．各走行，もしくは安静時で周波数解析をしたデータ数が異なることから，

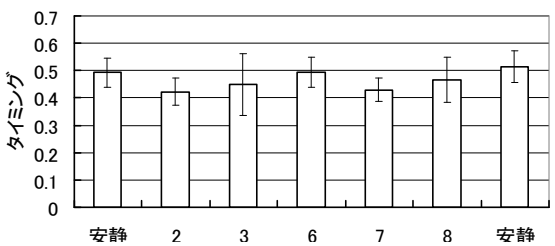

図.3 呼吸タイミング

算出した PSD を各データ数で割り，標準化を行った．HF に関して，全走行回数を通して変動しているのがわかる．これは，副交感神経の活動が活発であり，走行ごとに変動していることを示している．このことより，アクティブな快を感じているときは同じタスクを行っている状態において，精神的な負荷がかかっていない，または負荷を打ち消すような状態だと思われる．また，楽しい度合いと HF の PSD の相関関係を見ると，相関係数が 0.72 と比較的高い値をとることより，楽しさを表すような指標である可能性がある(図.5)．

5.2. 交感神経と副交感神経の拮抗バランス

LF に関しては，乗車回数 2，3，6 回目は同等の値をとっているが，7 回目と 8 回目に関しては大きな値をとっている．また，LF と HF の比率を走行ごとに見ると，やはり 7 回目と 8 回目で他のデータとは異なっていることがわかる．これに関して，LF は交感神経と副交感神経の両方の活動を反映していると言われ，どちらかの活動が活性しても上昇，もしくは下降を示すとされる．両方の活動を現すことから，HF による副交感神経の活動で LF を割ることによって，交感神経の活動を見ることができるとする知見もあるが，これらが本実験において 1 対 1 で対応していることを検証できないため，交感神経の活動指標として HF/LF を用いることはできない．しかしながら，一方で HF が全走行回数を通して高く，LF が 6 回目から大幅に上昇していることから，交感神経と副交感神経の活動が拮抗し合い，活性のバランスを反映する指標として用いることができるのではないかと考えた．

図.1 より，楽しさと距離調整度が 6 回目で交差し，7 回目以降で大きく差が開いていることがわかる．また，図.6 に楽しさの要因と LF の PSD の相関関係を示す．7 回目のプロット位置が他の乗車回と比較して大幅にはずれていることから，交感神経と副交感神経の活性バランスが崩れていると考えられ，7 回目で被験者内において状態が変化したと考えられる．つまり，7 回目で SEGWAY™ 乗車時の楽しさが下降を始めたことを反映しているものと思われ，図.2 の要因の変化からも，SEGWAY™ への興味が割合の多くを示し，操作能力に関しては値が小さくなっていることから，被験者内で楽しさの要因が変化した切り替え点を LF/HF による交感神経と副交感神経の拮抗バランスにより示されたものと推察され，要因変化場面を特定する指標となる可能性があると考える．

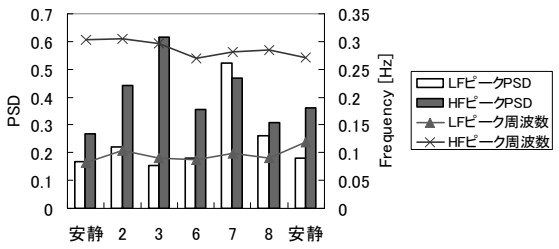

図.4 LF･HF ピーク PSD とピーク周波数

6. まとめ

本稿では，乗り物乗車時の楽しさを評価する手法を構築することを目的として，SEGWAY™ による前方車両追従実験を行い，生体反応と主観評価の突き合わせによる検討を行った．主観評価による楽しさと距離調整の度合いと，重み付けによる楽しさの要因を算出し，心拍や呼吸の解析結果と照らし合わせた結果，心拍周波数解析による HF が SEGWAY™ 乗車時の楽しさとの相関係数が高いことから，楽しさを現す指標である可能性を示した．また，LF と HF の比率と，要因と LF の相関関係から，交感神経と副交感神経の拮抗バランスの崩れが確認でき，LF/HF は要因の切り替わりを示す可能性を示唆した．しかしながら，被験者数が少ないことや，データ数が少ないことが問題点として挙げられるため，それぞれを増加して今後検討していく必要がある．

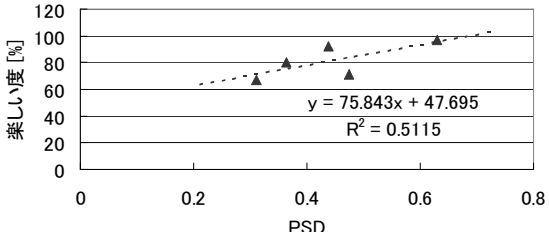

図.5 楽しい度と HFPSD 相関

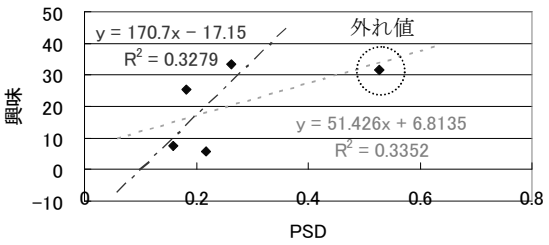

図.6 要因と HF の外れ値

参考文献

1) 下山修，自動車のドライビングプレジャーの変遷，自動車技術 Vol.57，No.10，p.10～p.14，(2003)