

乗物の外部・内部視野が乗り心地に与える影響

Effects of the external and internal view of vehicle on riding comfort

奥田 翔[†] 志水 あづみ[†] 竹内 利紗[†] 河合 俊岳[†] 小澤 惇一[†]
 Sho Okuda Azumi Shimizu Risa Takeuchi Toshitake Kawai Jun-ichi Ozawa

増田 修[†] 河合敦夫[†] 井須 尚紀[†]
 Osamu Masuda Atsuo Kawai Naoki Isu

1.はじめに

本研究では、定常的振動が加わる時の乗り心地に視覚が与える影響を検討した。路面の状況や車体の振動・共振特性によって、直進走行中にもピッチとロール回転の複合した複雑な非周期的振動が生じる。この時、車の外装・内装によって乗り心地や揺れの強さ感覚がどのように変化するかを調べた。

非周期的振動には共振周波数の異なるロールとピッチの小振幅複合回転を用いた。視覚刺激として、直進走行時の車外視界と車内視界を3Dグラフィクスによって与えた。視覚刺激の撮像カメラ(運転手の目)の位置を車内で前後にシフトすることによって、車外視界・車内視界の見え方を変化させた。また、ルーフあるいはルームミラーを外した車や、内装と車外風景とのコントラストを高めたり低めたりした車の視野を表示した。被験者の主観的な乗り心地や揺れの強さ感覚に車外・車内視界が与える影響を検討した。

2.実験方法

2.1 被験者

本実験は、三重大学大学院工学研究科実験倫理委員会の承認の下に実施した。これまでにめまいや難聴など耳鼻咽喉科疾患の既往のない20歳前後の健康男女17名(男性11名、女性6名)を被験者に用いた。実験実施に先立って、実験の目的、方法、予期される影響、人権の保護に関することなどについて被験者に十分な説明を行った後、同意書により被験者の同意を得た。被験者の先入観による心理的な影響を避けるため、実験で与える刺激の情報等は被験者に知らせず、また評価の独立性を保つために被験者間で実験に関する情報交換を行わせないようにした。なお、動揺病の主症状(Graybiel et al. [1])の診断基準におけるMIII以上の状態が見られた場合や被験者が中断を求めた場合には直ちに実験を中断することとしたが、動揺病不快感が発生することはなかった。

2.2 装置

3D映像システムには反射型偏光方式を採用し、広視野映像を実現するために円筒型スクリーンに6映像(左右眼用各3映像)を投影することによって1つの動画を

構成した。描画演算用コンピュータ6台(Dell Precision T5400)、プロジェクタ6台(SANYO PDG-DXT10GL)と偏光フィルタ、および偏光用円筒大型スクリーン(高さ2.60m、半径10mの円筒の60deg円弧の曲面)によって3D映像を描画した。被験者の頭部がスクリーンの手前4.0mに位置するようにモーションベース(川田工業(株)JoyChair-R1)を設置し、1台のコンピュータ(Dell Optiplex 745)で描画演算用コンピュータと同期させて制御した。本装置は、搭乗人員1名でロールとピッチの2軸の可動軸を持ち、最大角速度40deg/s、最大回転角15degの回転・振動を負荷することができる。なお、本装置に搭乗した被験者から見たスクリーンの視角は水平120.4deg×垂直48.8degとなった。

また、被験者の臨場感や走行感を高めると同時にモーションベースの駆動音を遮断するために、スピーカー7台(BOSE 55WER)から車の走行音と走行感のある音楽「オブラディ・オブラダ」を流して被験者に聞かせた。3D映像以外の視覚刺激を減らすため、実験室の床・天井・窓を黒い布等で覆った暗室内で実験を実施した。

2.3 刺激

車体の振動と共振による非周期的定常振動を模擬して、ロールとピッチの非周期的複合小振幅回転を刺激として与えた。白色雑音を2次の共振フィルタに入力することによって非周期的振動波形を生成した。共振周波数はロール2.0Hz、ピッチ1.2Hz、バンド幅はいずれも0.4Hzとした。なお、回転軸方向が常に変動する複合回転を得るように、ロールおよびピッチ振動の駆動信号生成には独立な白色雑音を用いた。ロール振動とピッチ振動のパワー比(角速度の2乗)が等しくなるように、両者の角速度を1.9deg/s(rms)に設定した。生成された駆動信号の大きさは、ロール振動の角度は0.15deg(rms)(振幅では0.2~0.4deg程度)、ピッチ振動の角度は0.25deg(rms)(振幅では0.3~0.6deg程度)となった。振動刺激の持続時間は45秒間とした。

生成された信号で2軸モーションベース(JoyChair-R1)を駆動して被験者に身体振動刺激を与えると同時に、視覚刺激における車内視界の動きを与えた。

[†] 三重大学工学部 Faculty of Eng., Mie Univ.

[‡] 本田技術研究所 Honda R&D Co.,Ltd

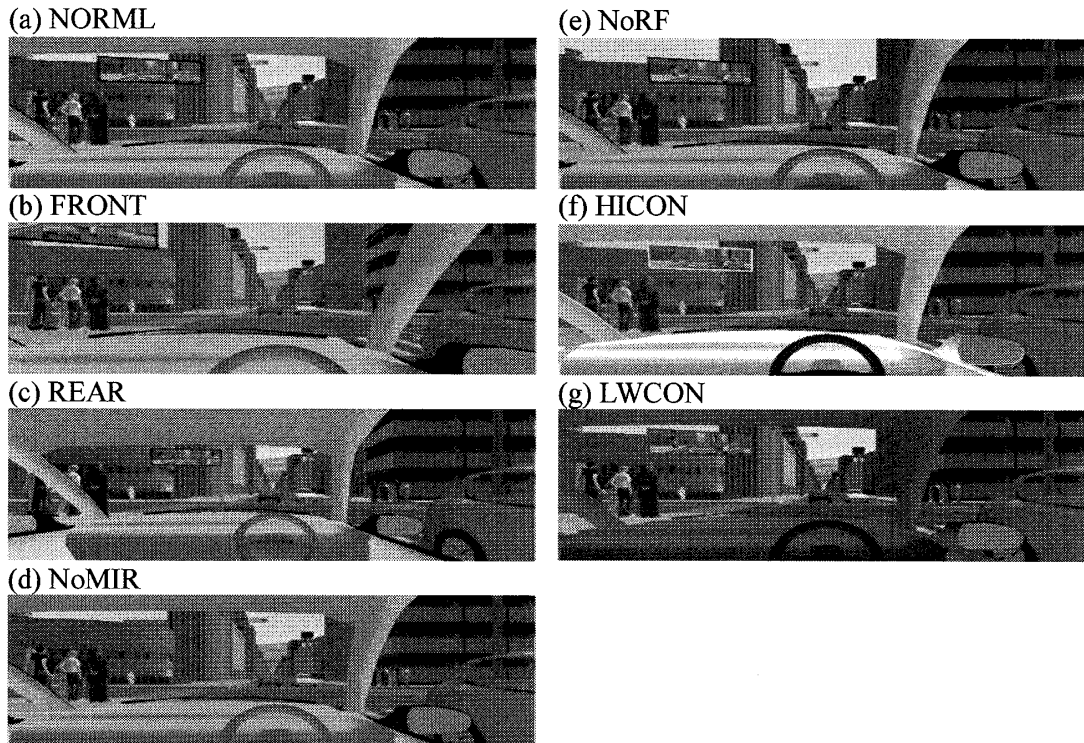


図1. 視覚刺激に用いた映像

身体振動刺激

上記のモーションベースに被験者を座らせて2点式シートベルトで腰部を拘束し、ロールおよびピッチ回転を組合せた非周期的振動を身体に与えた。このモーションベースはヘッドレスト一体型の背もたれを有しているが、被験者の頭部はヘッドレストに接触させなかった。

視覚刺激

身体振動刺激と同期させて、等速直進走行時の車外視界と車内視界を重ね合わせた映像(動画像)を3Dグラフィックスによって与えた。車外視界には16.67 m/s(時速60 km)で前方に直進した時の車外風景を模擬した映像を、車内視界には非周期的振動が加わった自動車で運転席から見た自動車内部の視界を模擬した映像を用いた。ここで、運転席の位置や車の外装・内装を変化させ、以下の7種類の車内視界を車外視界と組合せた。

- (a) NORML: 標準位置の運転席からみた視界
- (b) FRONT: 標準位置より25 cm前方の運転席からみた視界
- (c) REAR: 標準位置より25 cm後方の運転席からみた視界
- (d) NoMIR: ミラーを外した車の運転席からみた視界
- (e) NoRF: ルーフを外した車の運転席からみた視界
- (f) HICON: 車外風景とのコントラストを高くした内装の車の運転席からみた視界
- (g) LWCON: 車外風景とのコントラストを低くした内装の車の運転席からみた視界

視覚刺激として用いた映像の1シーンを図1に示す。

2.4 計測法

壮快感、快適さ、および揺れの強さ感覚について、連続する2つの刺激間での高低(強弱)をThurstoneの対比較法(2件法)によって被験者に答えさせた。ここで、壮快感とは「ドライブを楽しみ、うきうき・わくわくするような快さ」、快適さとは「ドライブをしていてリラックスできるような穏やかな心地良さ」、揺れの強さとは「車で走行して感じる自分自身の揺れの強さ」のこととした。7種類の刺激をそれぞれ他の6種類の刺激と組合せて比較させ、順序逆順を合わせて42対の比較結果により、各刺激で誘起される上記の各感覚を比較判断の法則(ケースV)に基づいて距離尺度化した。

2.5 実験手順

45秒間の非周期的振動を1刺激とし、15秒間程度の静止時間を置いて約60秒周期で振動刺激を繰り返した。12刺激を1セッションとし、1回の実験で4セッションを実施した。各セッション間には3~5分の休憩時間を取った。連続する2刺激間で壮快感、快適さ、および揺れの強さ感覚の対比較を行わせ、静止時間内に口頭で答えさせた。1セッションで11比較、1回の実験で計44比較を行わせた。ただし、第1セッションの最初の2比較は練習試行とした。7種類の各刺激が他の6種類の刺激と対をなすように、順序逆順を合わせた42種類の対について各1回の対比較を実施した。実験回数は40回で1680比較を実施し、各刺激対あたり80試行の比較を行った。

3. 結果

壮快感、快適さ、および揺れの強さ感覚の高さ・強さを、標準刺激 NORML を基準とする距離尺度で表した。いずれの感覚についても距離尺度化にあたって比較判断の法則（ケース V）を適用した。すなわち、各刺激で誘起される感覚の大きさ（高さ・強さ）は正規分布し、そのばらつき（標準偏差）は刺激に依らず等しいと仮定してモデル化した。その時、比較した刺激間での感覚の差の標準偏差はいずれの刺激対でも等しくなり、各刺激で生じる感覚の標準偏差の $\sqrt{2}$ 倍となる。この感覚の差の標準偏差を単位（1）として各感覚の距離尺度を定めた。なお、刺激間の感覚の差が危険率 5%で統計的に有意となるのは、本実験での比較回数では 0.13 がその目安となる。

3.1 揺れの強さ感覚

揺れの強さの感覚を、NORML を基準とする距離尺度で図 2 に示す。HICON の視覚刺激が与えられた時、揺れの強さは他の刺激に比べて弱く感じられた。車の内装が車外風景に対して高いコントラストでくっきりと見えるため、地面に対して車体が揺れているのを視覚的に知覚し易いと考えられる。しかし、車体の揺れを知覚することは自分自身の揺れを知覚することと必ずしも一致しない。一方、車内視界の振動が身体振動刺激と同期して明瞭に与えられるために、車体に対する身体の相対運動が強く意識される。車体との相対運動は与えられた刺激の振動よりも小さいために、自分自身の揺れの感覚が抑制されたと考えられる。

運転席を前方に置いた FRONT の視覚刺激では、車外視界が視野の多くを占めて車内視界が限られた映像となるが、揺れの強さは HICON に次いで弱くなった。ルームミラーやルーフを外した NoMIR や NoRF は、FRONT と同様に車内視界を削って車外視界を拡げた映像であるが、これらと比較して FRONT は有意に弱い結果であった。FRONT では、車外-車内視界の相対運動が表示される部分が狭まり、視野の広範囲が振動しない車外視界であるために、揺れの感覚が弱まったと思われる。NoMIR や NoRF、その他の視覚刺激では、車外-車内視界の相対運動によって車の揺れを知覚する一方で、車体と身体との相対運動の視知覚が弱いために、揺れの感覚が抑制され難かったのかも知れない。

3.2 壮快感

壮快感を、NORML を基準とする距離尺度で図 3 に示す。FRONT および NoRF の視覚刺激が与えられた時に、他の刺激に比べて壮快感が高く感じられた。さて、本研究では壮快感を「ドライブを楽しみ、うきうき・わくわくするような快さ」と定義して、被験者に評価させた。すなわち、活動的・積極的な心地良さであり、適度なスピード感があって走りを楽しむことが出来ると壮快感が高くなる。FRONT や NoRF では、窓が広く車外風景が広範囲に見えるので開放感があり、走行感も高まって壮快感が高くなったと考えられる。逆に、運転席を後方に置いた REAR の視覚刺激では、車外の視野が狭くなり閉塞感を感じるために壮快感が低下したと思われる。NoMIR でも車外風景の見え方が良くなるが、壮快感は NORML

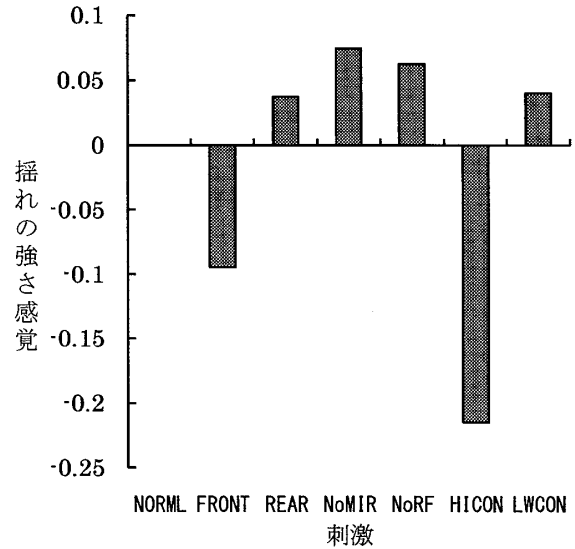


図 2. 揺れの強さ感覚

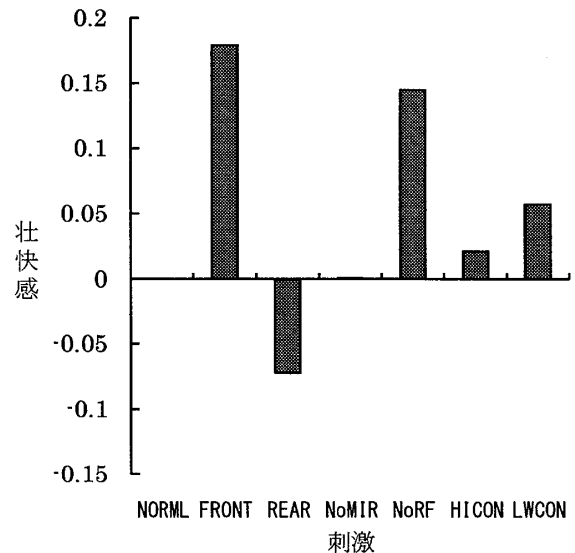


図 3. 壮快感

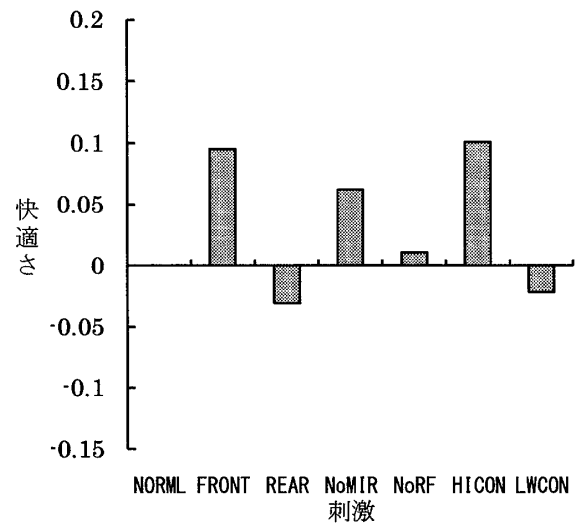


図 4. 快適さ

と変わらなかった。車外風景に対するコントラストが低い内装の LWCON の視覚刺激では、NORML との統計的有意差は得られなかったものの、幾分壮快感が高くなった。車内視界が車外風景に同化して閉塞感を抑える効果が得られたのかも知れない。

3.3 快適さ

快適さを、NORML を基準とする距離尺度で図 4 に示す。本研究では快適さを「ドライブをしていてリラックスできるような穏やかな心地良さ」と定義して、被験者に評価させた。すなわち、静的で落ち着いた心地良さであり、安心感があり、ゆったりと寛ぐことが出来る快適さが高くなる。いずれの刺激間にも統計的有意差は得られなかったが、FRONT、NoMIR、および HICON の視覚刺激を与えた時に快適さが高くなった。FRONT や HICON では揺れの強さを弱く感じたことが寛ぎ感を高め、快適さを高くしたと考えられる。また、FRONT では車外視野が広く開放感が高まったことで、壮快感と同時に快適さも増したと思われる。一方、NoMIR では、揺れの感覚は弱くならないものの、ルームミラーに映った後方風景が振動して目をチラチラと刺激することがなくなるために寛ぎ感を増して快適さが高まったものと考えられる。ルーフを外した NoRF でも、コントラストの低い内装の LOCON でも快適さは NORML と変わらず、運転席を後方に置いた REAR でも快適さに違いは見られなかった。

3.4 相関

壮快感、快適さ、および揺れの強さ感覚の相互間の相関を検討した。一対比較の試行毎に得られた比較評価が 3 つの感覚の間でどの程度一致するかを、関連性の尺度である ϕ 係数で表した。感覚の高低あるいは強弱の一致を正、逆の一致を負として ϕ 係数に符号を付加し表 1 に示す。壮快感-快適さ、および壮快感-揺れの強さ感覚には相関が見られなかったが、快適さ-揺れの強さ感覚には負の相関が得られた。揺れの強さは快適さを低下させるが、壮快感を損ねるものではないことが示された。また、壮快感と快適さを決定する要因は異なることが示唆された。

表 1. 壮快感、快適さ、揺れの強さ感覚の相関

	壮快感- 快適さ	壮快感- 揺れの強さ	快適さ- 揺れの強さ
符号付き ϕ 係数	-0.03	0.06	-0.39

4. 考察

揺れの強さ感覚との相関をみると、「快適さ」は負の相関が得られ、揺れを強く感じると快適さは低下した。一方、「壮快感」とは相関が見られず、揺れの強さは壮快感を損ねるものではなかった。長野らの研究[2]では、本研究で用いたものと同様の定常な非周期的振動を被験者に与え、「心地良さ」を「自動車に乗って走行していると考えた時の乗り心地のこと」と定義して計測した。「心地よさ」と揺れの強さ感覚との間に強い負の相関が得られた。また、辻らの研究[3]では、周波数 0.2 Hz で振

幅 2.1~10.4 deg の正弦波状ロール回転を与えて「心地良さ」を計測し、回転振幅が大きいと「心地良さ」が低下する結果が得られた。「心地良さ」は、活動的な快さである「壮快感」や、静的な快さである「快適さ」を含めたより広い概念であると思われるが、これまでの研究で求められた「心地良さ」を決定する支配的な要素は、「壮快感」よりもむしろ「快適さ」であったのかも知れない。

本研究の結果は、自動車の外装や内装によって車内視界を変えると、視覚の影響によって乗り心地が変化することを示した。通常より前方に置いた運転席での視野 (FRONT) が与えられると、壮快感および快適さの高い結果が得られた。広い車外風景が見えるので開放感や走行感が高まる一方で、揺れを弱く感じるために、壮快感も快適さも高くなったと考えられる。前席の同乗者についても、座席位置を前方に置くことで壮快感・快適さが高まるものと思われる。しかし 1 列シートのみでない限り、後部座席の同乗者の壮快感が後方に置いた運転席の場合 (REAR) よりもさらに低下するのを免れることは出来ない。オープンカーのようにルーフを外した場合 (NoRF) には、壮快感は高くなったが、快適さには違いが見られなかった。開放感が増して「うきうき・わくわく」するものの、落ち着いて寛ぐことにはならなかったと思われる。逆に、ルームミラーを外すと (NoMIR)、壮快感は変化しないが、快適さは高まった。現状ではルームミラーをなくすことは出来ないが、ミラーに映る後方景色の存在が快適さを阻害していることを示唆している。

自動車の内装を車外風景に対して高コントラストにした時 (HICON)、揺れを弱く感じるようになり、快適さが高くなった。本研究で使用した視覚刺激では、車外風景は明るい昼間のビル街とし、車の内装には車外の舗装道路やビルよりも明るい色を用いた (図 1 f)。実際の多くの状況では、昼間は太陽光に照らされて車外風景が明るく、夜間も乗用車では車内を明るくしないため、車の内装は車外よりも暗くなっている。車内-車外のコントラストを高くする場合でも、輝度の高低の付け方や、色相や彩度、明度によっても揺れの強さ感覚が変化し、快適さに影響するものと思われる。

本研究の結果から、車の内装を車外風景に対してコントラストの高い配色にすると、快適さや壮快感が高まり、乗り心地が良くなることが示唆された。また、ルームミラーは快適さを阻害する原因となっており、これに替わる後方モニタリングの手段を考案することが乗り心地改善に有効であることが示唆された。

参考文献

- [1] Graybiel A, Wood CD, Miller EF, and Cramer DB Lt; Diagnostic criteria for grading the severity of acute motion sickness. *Aerospace Med*, 39: 453-455, 1968.
- [2] 長野茂人, 河合俊岳, 増田修, 河合敦夫, 井須尚紀; 身体及び視野の振動が快適さに与える影響, 第 8 回情報科学フォーラム講演論文集, 第 3 分冊, 423-424, 2009.
- [3] 辻仁志, 小川博也, 河合俊岳, 井須尚紀, 横揺れ時の乗り心地に視覚が与える影響, *宇宙航空環境医学*, 45:117, 2008