

乗車時間の長さが乗り心地評価に及ぼす影響

大野 央人* 鈴木 綾子* 斎藤 綾乃*

Simulation Experiment on Ride Quality for Long Travel

Hisato OHNO Ayako SUZUKI Ayano SAITO

We conducted a laboratory experiment on the ride quality of passengers for long travel. A total of 113 subjects experienced a virtual Shinkansen-trip in a train ride simulator, during which they evaluated their ride every thirty minutes for up to five hours. Vibration magnitude and seat pitches (i.e., incommodities) were the experimental parameters to be manipulated. As a result, the effects of both parameters were rather positive, however, none of them was critical for the discomfort observed especially after the start-three hours or later. In contrast, subjects' dissatisfaction with the seat cushion (i.e., softness, etc.) increased as time advanced, whereas their dissatisfaction with vibration and seat pitches stayed constant. Moreover, subjects wanted to stretch their bodies, to get up from their seats, and to breathe fresh air more and more as time advanced, while they wanted to read books and to sleep less and less. Accordingly, improving the seat cushion and establishing a space for distraction would be effective to improve ride quality of passengers for long travel.

キーワード：乗り心地，時間変化，乗車時間，新幹線，シミュレータ，人間工学

1. はじめに

我が国の長距離旅客輸送においては以前から鉄道と航空の旅客シェア競争が激しく，そうした競争は昨今ますます激化している。今後，2010年12月には東北新幹線の新青森～八戸間開業が予定され，2011年3月には九州新幹線の博多～新八代間開業が予定されている。将来的にはその他の路線においても延伸が想定される。それによってもなるとして鉄道の運行区間が長距離化されることになる。しかし，一般に，移動距離が長くなると鉄道は旅客シェアにおいて航空機より不利になる傾向があることは否定できない。例えば東海道・山陽新幹線を例にとると，東京からの旅行者が新幹線と航空機を選ぶシェアは，大阪や岡山では新幹線に有利であるが，広島付近で両者のシェアはほぼ均衡し，博多や小倉になると航空機が有利になることが知られている¹⁾。

このように長距離旅客輸送においては鉄道と航空機の旅客シェアが拮抗する地点が存在し，それは移動距離にして750～1,000kmのエリアである²⁾。この拮抗エリアを出来るだけ遠くに位置させることが出来れば，鉄道にとって有利なエリアを拡大できることになる。そのためには一定時間内に到達できる距離を拡大するか（速達化），もしくはより長い移動距離（または，より長い移動時間）まで旅客を鉄道に引き留めることが効果的であ

る。前者（速達化）に関する検討は車両開発などとの関連で種々行われているが，後者（旅客の引き留めの延長）については既往にほとんど検討が見当たらない。

なお，列車の種別（新幹線，在来特急など）を限定すれば，走行速度は一定範囲に収束するため，移動距離と移動時間の間におおよその対応関係が生じる。また乗客が交通機関を選択する際により密接に影響するのは移動距離より移動時間（乗車時間）の方であると考えられる。そこで，以降では乗車時間について話を進める。

2. 長時間乗車に関連する既往の研究

より長時間に渡って旅客を鉄道に引き留めることを期するためには，旅客がどのような契機で鉄道から航空機に移行するのかを明らかにする必要がある。こうした問題に対して参考になる研究が既往にいくつか見られる。

2.1 車内快適性の研究

複数の交通機関が存在する場合，旅客は各交通機関のサービス特性を比較・評価して交通機関を選択する。その際に比較・評価されるサービス特性とは速達性（所要時間），利便性（運行本数），経済性（価格）などであるが，これらに加えて車内快適性も一定の影響をもっていることが田中らの研究³⁾で確認されている。それゆえ車内快適性を向上させることにより旅客シェアの増加が期待できる。問題は車内快適性という曖昧なものをいかに

* 人間科学研究部（人間工学）

特集：ヒューマンファクター

して評価するかということであるが、この点についても既往に研究が行われている。

鈴木ら⁴⁾は優等列車の乗客1,500名を対象にアンケート調査を行い、その結果から車内快適性の評価に重要な要因は振動・騒音、座席の寸法諸元、車内デザイン、空気清浄度の4種類に集約できると報告している。これを踏襲しながら、大野ら⁵⁾は優等列車内で1,100名規模の旅客アンケートを行い、接客などの人的サービスも車内快適性に影響することを示している。また、上記の田中らの研究³⁾は2,000名規模の郵送アンケート調査に基づいて、近距離移動（1時間程度までの移動）と遠距離移動（4時間程度の移動）では旅客が重視するサービス特性が異なることも示しており、さらには航空機を選んだ旅行者には時間効率を重視した者と疲労しないことを重視した者の2種類が見られると報告している。

このように、既往に車内快適性の構造や旅行者の交通機関選択などを扱った研究はいくつか存在するが、乗車時間との関連で乗り心地を検討した例は見当たらない。

2.2 国鉄労研の研究

国鉄時代に、当時の国鉄労働科学研究所が東京－博多間（当時の所要時間は6時間）の新幹線営業車を用いた検討を行い、フリッカー値、足指体温、心拍数などの生理的变化が乗車後3～4時間を境にして変化するなどを報告している⁶⁾。ただ、これらの研究は被験者数（サンプル数）が少ないため、得られた結果をどこまで一般化できるかという疑問を否定できない。また営業列車を用いているため、振動条件を制御できていないという制約もある。

2.3 全身振動の研究

国際標準化機構（ISO）の全身振動規格であるISO 2631の1978年版⁷⁾には、疲労-作業能率減退曲線として、全身振動の暴露時間の許容限界が示されている。それによれば、振動暴露によって疲労が生じ、結果として作業能率が減退する。この観点からみた全身振動の暴露許容限界は振動周波数、振動強度（加速度）、振動の作用方向の3つによって決定される。強い振動は短い時間でも、弱い振動も時間が長いと暴露量は大きくなる。

現行版のISO 2631（1997年版）⁸⁾では疲労-作業能率減退曲線に代わってVDV（Vibration Dose Value）という指標が採用されている。これは周波数加重処理を行った加速度を積分して得られる数値（VDV指標）に基づいて全身振動の人体影響を推定するものである。

これらの考えを適用すれば、鉄道に乗車している際には全身振動に暴露されることで疲労などを生じると考えることが出来る。ただし、VDV指標は土木機械や農業機械で発生するような強い振動には適用可能なことが示さ

れているが、鉄道のように振動が緩やかな乗り物に適用できるか否かについては確証がないため、今後検証が必要である。

2.4 本研究の目的

以上を踏まえ、本研究は長時間乗車の乗り心地評価についてVDV指標の有効性を検証し、また振動以外の車内要因についても検討して、乗り心地との関連性に関して基礎的な知見を得ることを目的とした。

3. 方法

新幹線の長時間旅行を想定した仮想旅行実験を室内で行い、乗り心地の体感評価を行った。以下に方法の概要を示す。

3.1 被験者

乗り心地評価には日常的な鉄道の乗車経験が影響し、乗車経験が豊富な者の方がよりの確な乗り心地評価が期待できる⁹⁻¹⁰⁾。そこで本研究では、被験者公募に応募した者から優等列車の乗車頻度が高い者を優先的に採用し、結果的に成人男女113名（男性：62名、女性：51名）を被験者とした。年齢は平均40.1歳±標準偏差12.6歳、身長は平均164.4cm±標準偏差9.1cm（男性：平均171.0cm±標準偏差6.3cm、女性：平均156.9cm±標準偏差5.2cm）であった。

優等列車の乗車頻度は「年2～4回」（44.2%）が最も多く、次いで「年5～11回」（23.0%）、「年1回以下」（18.6%）の順であった。「月1回以上」（14.2%）乗車する者も1割以上みられた（図1a）。乗車時間については「2時間以上3時間未満」（40.7%）が最多であり、次いで「1時間以上2時間未満」（23.0%）、「3時間以上5時間未満」（21.2%）の順であった。「5時間以上」（3.5%）もみられたがごく少数であった（図1b）。

なお、実験の実施に先立ち、研究の目的と概要を被験者に説明し同意を得た。

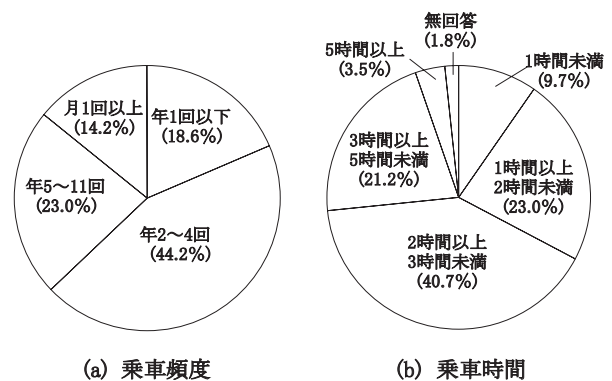


図1 被験者の優等列車の利用状況

3.2 実験装置

車内快適性シミュレータ¹¹⁾(以後、シミュレータという)を用いた。この装置は駆動装置、音響装置、映像装置などから成り、振動、車内音、車窓風景を複合的に組み合わせたシナリオ¹¹⁾を呈示することで、実際の車両と同様の臨場感をもった仮想旅行を体験させることが出来る。

シミュレータの客室内には100系新幹線の普通車用座席を横4列×縦3列に、いずれも想定上の進行方向に向けて設置した。振動刺激はLABOCS¹²⁾を用いて作成した新幹線車両の走行振動を用いた。曲線、分岐器、加減速などの振動は発生が離散的であり、線区によって発生頻度が異なるため、本検討ではこれらを除外し、直線区間における定速走行時の走行振動を用いた。なお、乗り心地の評価時間がある程度以上に長くなると乗り心地評価に離散的振動が及ぼす影響は小さくなり、評価時間全体の平均的な振動強度が乗り心地評価の結果とほぼ等しくなる¹³⁾。それゆえ、曲線、分岐器、加減速などの振動を除外しても結果には大きく影響しないと考えられる。車内音は新幹線車内を模したものとした。車窓風景はコンピュータグラフィック(CG)画像を窓外のスクリーンに映示した。但しCG酔いのリスクを減らすため、被験者からは窓のブラインドを通してCG画像が見えるようにした。気温・湿度はエアコンで管理し、エアコンと換気扇による強制換気を行った。

3.3 仮想旅行

現行の新幹線最長運行区間(東京～博多;5時間)に準じ、仮想旅行の乗車時間を5時間とした。被験者は乗車中、終始着座するよう求められた。実際の新幹線乗車に出来るだけ近い状況を再現するため、座席のリクライニングの使用を含め、着座姿勢を自由とした。同様の理由により、乗車中の行動についても「普段、新幹線に乗車している時と同じ」ように過ごすことを求め、具体的な行動は本人に任せた。ただし乗り心地評価の都合上、



図2 実験中の客室内の様子

睡眠は禁止とした。お茶(500mlペットボトル1本)を事前に配布し、必要に応じてさらに1本を追加配布した。実験中の客室内の様子を図2に示す。なお、被験者からトイレの要望があった際は本人のみ一旦シミュレータから降車させ、トイレの終了後、速やかにシミュレータ内に戻した。

結果的に途中で棄権する被験者はなく、全員が仮想旅行を全うした。

3.4 実験変数

既往の研究⁴⁾で、車内快適性に影響する要因は振動・騒音、座席の寸法諸元、車内デザイン、空気清浄度という4種類に集約できると報告されていることから、これらを網羅するように実験変数を設定することも考えられた。しかしながら、実験変数を増やし過ぎると必要なサンプル数(被験者数)や実験の手間が膨大になるという弊害を生じる。そこで本検討では振動強度と座席間距離の2つを実験変数とした。具体的な設定は以下の通りである。

- ①振動強度：上述の走行振動に対して、シミュレータの振動装置のアンプ倍率を調節することで振動強度を2段階(新幹線相当と在来特急相当)に調節した。乗り心地レベル¹⁴⁾は、在来線相当の設定で左右77.4dB、上下78.8dB、新幹線相当の設定で左右75.2dBdB、上下73.2dBであった。厳密には新幹線と在来特急では振動の周波数組成が異なるが、本研究では振動強度のみに着目するため、敢えて周波数組成は同じとした。
- ②座席間距離(シートピッチ)：在来線特急車両にみられる座席間距離(910mm)と新幹線の普通車に一般的な座席間距離(1,040mm)の2種類を検討した。新幹線のグリーン車ではより広い座席間距離(1,160mm)もみられるが、客室内スペースの関係で今回は検討を見送った。またグリーン車の座席は座席間距離だけでなく横幅も広くクッション特性も優れているが、今回は座席間距離に視点を絞るため、座席間距離以外の要因は不変とした。

3.5 乗り心地評価

乗り心地評価は以下に示す設問A～Lで構成した。

- ①設問A(体の痛みや凝り)：先行研究⁶⁾に準拠し、首、肩、背中、腰、尻、大腿、膝、足首の計8箇所について、痛みや凝りを5段階尺度(0：何ともない～4：我慢できない)で質問した。
- ②設問B(窮屈感)：先行研究⁶⁾に準拠し、前座席との間の空間の窮屈感を、体幹前と足元の2種類について、5段階尺度(0：何ともない～4：我慢できない)で質問した。
- ③設問C(座席のあたり具合)：先行研究⁶⁾に準拠し、肩、

特集：ヒューマンファクター

腰、尻、大腿の4箇所について、座席の当たり具合を5段階尺度（0：何ともない～4：我慢できない）で質問した。

- ④設問D（疲労感）：日本疲労学会の疲労VAS検査¹⁵⁾に準拠し、疲労感の程度を「疲れを全く感じない（0%）」から「何も出来ないほど疲れ切った（100%）」まで無段階スケールで質問した。
- ⑤設問E（飽き飽き感）：飽き飽き感（心的飽和感）の程度を「全然飽き飽きしていない（0%）」から「非常に飽き飽きしている（100%）」まで無段階スケールで質問した。
- ⑥設問F（疲労感・飽き飽き感の理由）：設問Dと設問Eの回答理由を6つの選択肢を用いて質問した。
- ⑦設問G（総合快適性）：諸要因を総合的に勘案した結果としての快適性を「非常に快適（0%）」から「非常に不快（100%）」まで無段階スケールで回答させた。
- ⑧設問H（個別要因に対する重要度）：先行研究⁴⁻⁵⁾を参考にして選んだ21個の個別要因について、重要度を5段階尺度（1：重要である～5：重要でない）で質問した。
- ⑨設問I（個別要因に対する満足度）：設問Hと同様の手順で満足度を5段階尺度（1：満足である～5：満足でない）で評価させた。
- ⑩設問J（自覚症状）：先行研究⁶⁾に準拠して選んだ17種類の自覚症状の有無を選択式で質問した。
- ⑪設問K（したい行動）：車内で「したい行動」を21種類の選択肢を用いて質問した。
- ⑫設問L（した行動）：車内で実際に「した行動」を14種類の選択肢を用いて質問した。

これらの設問の回答に要する時間は1回あたり3～5分程度であり、発車前（乗車時間0分）から到着時（乗車時間300分）まで30分毎に繰り返し行った。したがって各設問につき計11回の評価を繰り返した。こうして得られた評価データを評価時点ごとに集計して、乗り心地評価値を求めた。

4. 結果と考察

4.1 振動強度の影響

設問Gで得た総合快適性について、発車前～発車後300分の各評価値（単位：%）から発車前の評価値（単位：%）を差し引いた差分値を「快適性悪化量（単位：無し）」とし、その時間変化を図3に示す。

快適性悪化量の時間変化にはシグモイド曲線で回帰できる推移パターンがみられた。振動強度が在来線相当の場合は新幹線相当の場合より快適性悪化量が大きく、これは振動強度の相違を反映していると考えられる。

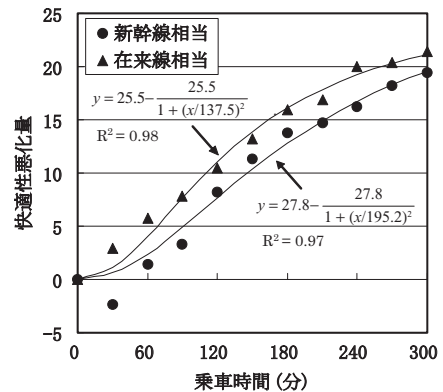


図3 快適性悪化量の時間変化

VDV指標と体感評価との関連を検討するため、乗り心地評価と同じタイミングについて算出したVDV指標と快適性悪化量との相関を調べたところ、新幹線相当の条件では相関係数が0.91、在来線相当の条件では相関係数が0.87であり、いずれも十分高い相関が認められた。このことは長時間乗車時の乗り心地悪化がVDV値によって評価できる可能性を示唆している。但しここでは振動強度を2段階しか検討していないため、具体的な評価方法を論じるにはデータが十分でない。この点については今後の検討が必要である。

4.2 座席間距離の影響

設問Aで得た身体の痛みや凝りのデータを全身8点について平均したものの時間変化を図4に示す。乗車時間の経過にともなって痛みや凝りが単調に増加する傾向が認められた。座席間距離が広い方が痛みや凝りの増加は緩やかであり、乗車時間が長くなるほど座席間距離の影響が拡大する傾向が認められた。

設問Bで得た窮屈感のデータを2種類の空間について平均したものの時間変化を図5に示す。窮屈感は時間経過にともなう増加がきわめて緩やかであり、乗車時間が長くなっても緩やかにしか増加しない傾向が認められた。そして座席間距離が広い方が乗車時間全般を通して窮屈感は低かった。

前節と同様の手順で求めた快適性悪化量の時間変化を図6に示す。これについてはやや特異的な時間推移がみられ、乗車後2時間半程度までは座席間距離による相違がややみられたが、そうした相違は乗車時間が3時間に達する頃には消失した。

Saitoら¹⁶⁾は、乗客が感じる座席周りの広さ感は座席間距離が同じであっても座席のデザインによって異なり、特に座面から上の空間の広さが影響することを示している。したがって、ここで検討した体の痛みや凝り、窮屈感、総合快適性なども、座席のデザインによっては評価が異なる可能性がある。

ともあれ、本研究で検討した座席間距離範囲に関する

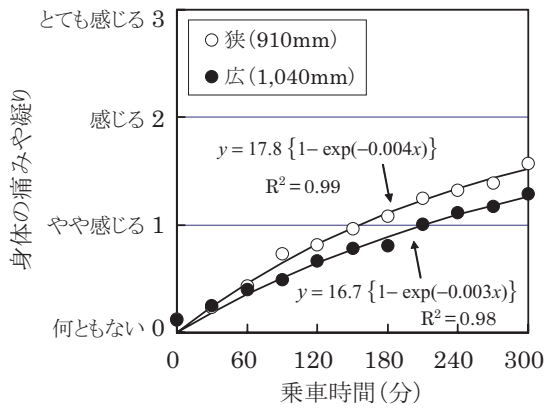


図4 身体の痛みや凝りの時間変化

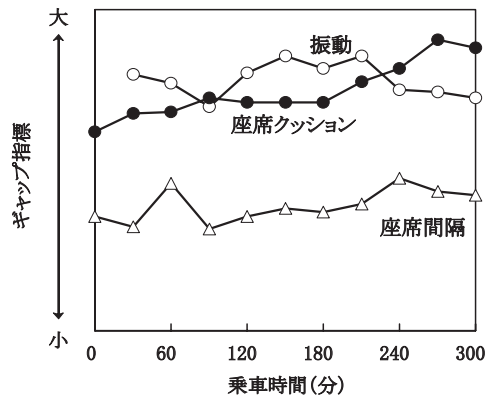


図7 ギャップ指標の時間変化

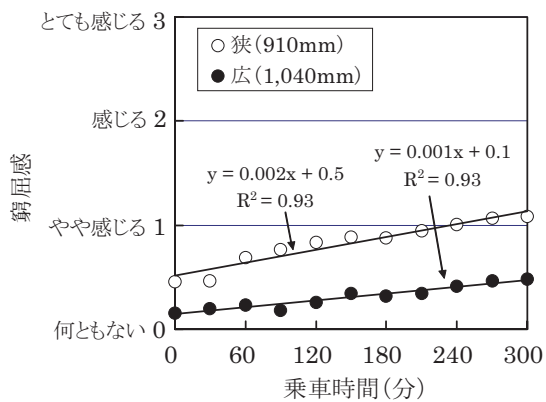


図5 窮屈感の時間変化

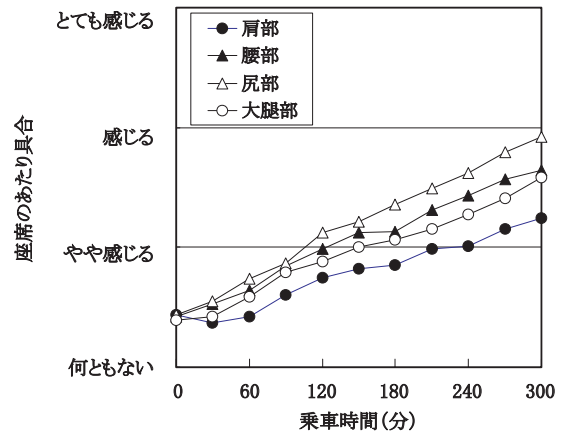


図8 座席のあたり具合の時間変化

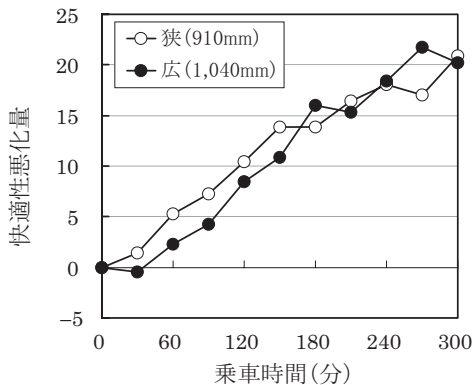


図6 快適性悪化量の時間変化

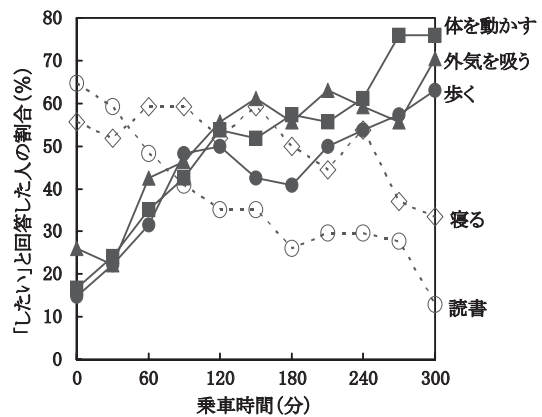


図9 車内でしたいことの時間変化

限り、座席間距離は体の痛みや凝りおよび窮屈感に対しては一貫して影響がみられたが、総合快適性に対する影響は限定的で、乗車時間3時間程度までしか効果はみられなかった。それゆえ3時間を超えるような長時間乗車の乗り心地を改善するためには別の方策をとる必要があると考えられる。

4.3 他要因の影響

重要度評価（設問H）から満足度評価（設問I）を差し引いて得られる差分値はいわば期待と現実とのギャップを示す指標（以後、ギャップ指標という）となり、数

値が大きいかほど現実が厳しいことを意味する。図7に主だった個別要因のギャップ指標の時間変化を示す。振動や座席間距離に対するギャップ指標は乗車時間が経過してもほぼ横ばいに推移するのに対し、座席のクッションに関するギャップ指標は乗車時間の経過につれて次第に増大し、特に乗車時間が3時間を越える頃から増加が顕著になる傾向が見られた。座席のクッションに関するギャップ指標の増大は長時間座り続けることで、座席と身体との間に痛み等が生じることによるものと推測され

特集：ヒューマンファクター

る。そこで身体と座席とのあたり具合の時間変化を分析したところ、4つの接触点（肩部、腰部、尻部、大腿部）のすべてにおいて時間経過とともに当たり具合が強くなる傾向がみられ、なかでも尻部のあたり具合が最大であった（図8）。このことから、長時間乗車においては座席の座面におけるクッション特性が重要であると考えられる。

ところで長時間にわたる着座中に生じる不快感についてはエコノミークラス症候群との関連でいくつか先行研究¹⁷⁻¹⁸⁾がみられ、長時間座席に座り続けた場合に下肢血流量の減少など血流動態にマイナス影響が見られることなどが報告されている。国鉄時代の研究⁶⁾でも乗車後3~4時間を境に各種生理量が変化することが報告されているが、これも下肢の血流動態との関連が論じられている。本検討で得た座席クッションに関する不満や座席のあたり具合の訴えなどの結果も同様の問題を含んでいるものと考えられるため、今後、血流動態など生理計測の面から検討を行うことでより多面的な理解が可能になるだろう。

最後に、被験者が車内でしたい行動（車内で何をしたいのか）の時間変化を図9に示す。乗車直後は読書のニーズが高いがこれらは乗車時間の経過とともに減少した。睡眠の要求も時間とともに減少した。これと反対に、時間経過とともに増加したものは体を動かす、歩く、外の空気を吸うなどのニーズであった。これらは乗車直後はニーズが少ないが、乗車時間が5時間となる頃には極めて高い値を示した。これは身体の無拘束性や気分転換に対する要求の表れと考えられる。

5. まとめ

シミュレータを用いて5時間にわたる長時間乗車の乗り心地に関する検討を行った。得られた結果は以下の通りである。

- ・時間経過とともに乗り心地推移を調べたところ、快適性悪化量と振動累積指標（VDV）の間に相関がみられた。このことは長時間乗車とともに乗り心地悪化がVDV値によって評価できる可能性を示唆している。
- ・座席間距離は身体の痛みや凝り、窮屈感に対しては影響する。しかし乗り心地に対する影響は限定的である。
- ・乗車後3時間を超えると座席のクッション特性が重要になり、特に座面部のクッション特性が重要である。
- ・乗車時間が長くなると「体を動かしたい」、「車内を歩きたい」、「外気を吸いたい」などのニーズが増える。このことから、長距離列車においては気分転換をはかることのできる場所を車内に設置することが効果的と考えられる。

なお、本検討は室内実験で行ったものであり、今後、実車を用いた検討を行って、本検討で得た結果の妥当性を

検証する必要がある。

文献

- 1) 沢井弘之：検証！競合路線クローズアップ-東京～広島間、JRガゼット、Vol.62, No.2, pp.65～67, 2004.
- 2) 松本典久, 沖勝則：東京～広島間に見る新幹線〈のぞみ〉増発と航空、鉄道ジャーナル、No.327, pp.48～55, 1994.
- 3) 田中綾乃, 鈴木浩明, 小美濃幸司, 四ノ宮章, 白戸宏明, 赤司博人：旅行者の交通機関選択と快適性評価、鉄道総研報告、Vol.14, No.12, pp.31-36, 2000.
- 4) 鈴木浩明, 白戸宏明, 小美濃幸司：列車の車内快適性に影響する要因の特定、鉄道総研報告、Vol.11, No.11, pp.31-36, 1997.
- 5) 大野央人, 鈴木浩明, 白戸宏明：接客が旅客の快適性・満足感に及ぼす影響、鉄道総研報告、Vol.19, No.1, pp.11-14, 2005.
- 6) 室屋英幸, 池田守利, 佐藤清, 多田三男：長距離旅行における生理的影響とアコモデーション、鉄道労働科学, No. 37, 1983.
- 7) ISO: Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration, ISO 2631, 1978.
- 8) ISO: Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1: General requirements, ISO 2631-1, 1997.
- 9) 白戸宏明, 藤浪浩平, 小美濃幸司：列車減速度の適正レベルに関する検討、鉄道総研報告、Vol.8, No.12, pp.43-46, 1994.
- 10) 鈴木浩明：鉄道関係者と大学生の振動乗り心地評価傾向の比較、心理学研究、Vol.73, No.2, pp.166-171, 2002.
- 11) 白戸宏明, 中川千鶴, 鈴木浩明：車内快適性シミュレータの開発と活用法、鉄道総研報告、Vol.18, No.2, pp.5-8, 2004.
- 12) 鉄道総合技術研究所：軌道保守管理データベースシステム マイクロボックスIIプラス 使用説明書, 1995.
- 13) 鉄道総合技術研究所（編）：在来鉄道運転速度向上試験マニュアル・解説, 研友社, 1993.
- 14) 鈴木浩明：人間科学からみた乗り心地の定量的評価, RRR, Vol.62, No.12, pp.6-9, 2005.
- 15) 日本疲労学会ウェブサイト <http://www.hirougakkai.com/>
- 16) Saito, A., Suzuki, H., Shiroto, H., & Omino, K.: Dimensional factors influencing on seta spaciousness feeling, Quarterly Report of RTRI, Vol.43, No.2, pp.72～76, 2002.
- 17) 小山秀紀, 海老根祐一, 安藤敏弘, 坂東直行, 金城正佳, 野呂影勇：航空機シート着座中の軽運動が下肢の血行動態に与える影響, 人間工学, Vol. 40, No.6, pp.309-314, 2004.
- 18) 松岡由幸, 山下太一, 北村武士：多様場におけるシートスウィング機構の皮膚血流量への影響, デザイン学研究, Vol.149, No.1, pp.93-102, 2002.