

# 長時間乗車の乗り心地を向上する

大野 央人

人間科学研究部(人間工学 主任研究員)



おおの ひさと

## 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ます。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ており、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ます。将来的には他の路線においても延伸が想定されます。それに伴って列車の運行区間が長距離化されることとなりますが、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ません。

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すが、広島付近で両者はほぼ均衡し、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ます。この場合、旅客シェアが均衡するのは移動距離にして750～1,000kmのエリアに相当します。他の長距離旅客輸送線区においても同様に鉄道と航空機の旅客シェアが均衡するエリアは存在します。

旅客シェアが均衡する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となります。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す。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ますが、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あたりません。

ちなみに、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しますので、移動距離と移動時間の間にはおおよその対応関係が成り立ちます。一般に、乗客の乗り心地に影響して交通機関選択を左右するのは、移動距離より移動時間(乗車時間)であると考えられます。そこで以降では乗車時間が乗り心地に及ぼす影響について話を進めます。

## 長時間乗車に関連する既往の研究

長時間に渡って旅客を鉄道に引き留める方策を練るためにはまず旅客がどのような契機で鉄道から航空機に移行し始めるのかを明らかにする必要があります。そうした問題を考える上で参考になる研究が既往にいくつか見られます。

### (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します。その際、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)などですが、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報告されています。そうであれば、車内快適性を向上させることによって旅客シェアの増加が期待できることとなります。

問題は車内快適性という曖昧なものをいかにして評価するかということですが、この点についても既往に研究が行われており、例えば、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種類に集約できること、接客などの人的サービスも車内快適性に影響すること、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、航空機を選んだ旅行者の中には時間効率を重視した者と疲れないことを重視した者の2種類が見られることなどが報告されています。ただし、車内快適性を乗車時間との関連で検討した例は見当たりません。

### (2) 国鉄の研究

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)の新幹線営業列車を用いた一連の検討を行い、フリッカー値、足指体温、心拍数などの生理量が乗車後3～4時間を境にして変化することなどを報告しています。しかし、それらの検討は被験者数(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ません。また営業列車を用いて

いるため、振動条件などの条件を制御できていないという制約もあります。

### (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ます。それによれば、振動に暴露

されることによって人体に疲労が生じ、結果として作業能率が減退します。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)、作用方向の3つによって決定され、強い振動は短い時間でも、弱い振動も時間が長くと暴露量は大きくなります。

現行版の ISO 2631 (1997年版) 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ます。これは周波数に応じた重みづけ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す。

ISO 2631の考えを適用すれば、鉄道に乗り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できます。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ますが、鉄道のように振動が緩やかな乗り物に適用できるかことについてはことについては確証がないため、今後検証が必要です。

## 仮想旅行実験

以上の知見を踏まえ、①長時間乗車の乗り心地評価にVDV 指標が適用可能かどうかを検証することと、②振動以外の車内要因と長時間乗車の乗り心地との関連を検証することを目的として、新幹線の長時間旅行を想定した仮想旅行実験を行いました。以下にその概要を紹介します。

### (1) 仮想旅行実験の概要

仮想旅行実験は車内快適性シミュレータ (以後、シミュレータといいます) を用いて実施しました。シミュレータは駆動装置、音響装置、映像装置などから成っており、振動、車内音、車窓風景などを複合的に組み合わせて被験者に呈示することで、実際の車両と同様の臨場感がある仮想旅行を体験させることができます。

今回の検討ではシミュレータの客室内に100系新幹線の



図1 実験中の客室内の様子

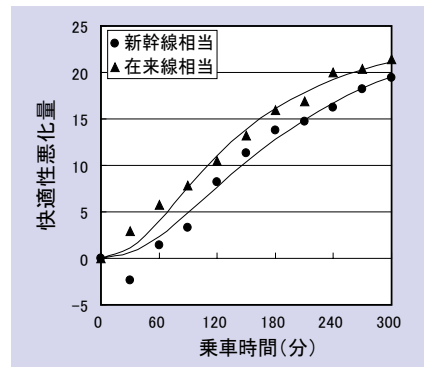


図2 快適性悪化量の時間変化

普通車用座席を横4列×縦3列に設置し、被験者はこれに着座しました。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を含め、着座姿勢は被験者の自由としました。乗車中の行動についても「普段、新幹線に乗りしている時と同じように過ごす」ように求め、具体的な行動は本人に任せました。ただし、唯一、寝ることは乗り心地評価の都合上禁じました。実験中の客室内の様子を図1に示します。

実験的に操作した変数は振動強度と座席間距離の2つです。具体的な設定は以下の通りです。

- ①振動強度：新幹線が直線区間を走行する際の振動を用意し、倍率を変えて新幹線相当と在来特急相当の2段階に設定しました。
- ②座席間距離：座席の前後距離 (座席間距離) を、在来線特急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種類に設定しました。グリーン車にはもっと広い座席間距離が用いられますが、グリーン車の座席は座席幅もクッション特性も異なるため、今回は対象外としました。

こうした条件下で、現時点における新幹線の最長運行区間 (東京～博多) に準じて、5時間の仮想旅行を被験者に体験してもらいました。その際、発車前 (乗車時間0分) から到着時 (乗車時間300分) まで30分毎に乗り心地評価のアンケートを繰り返し行いました。アンケートの内容は以下の通りです。

- ①設問A (体の痛みや凝り)：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) で質問しました。
- ②設問B (窮屈感)：前座席との間の関する窮屈感を、胸の前のスペースと足元スペースの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) で質問しました。
- ③設問C (座席の当たり具合)：肩、腰、尻、大腿の4箇所

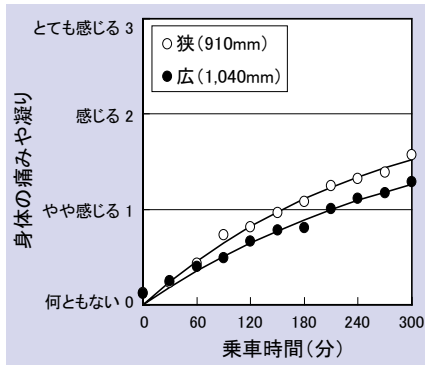


図3 身体の痛みや凝りの時間変化

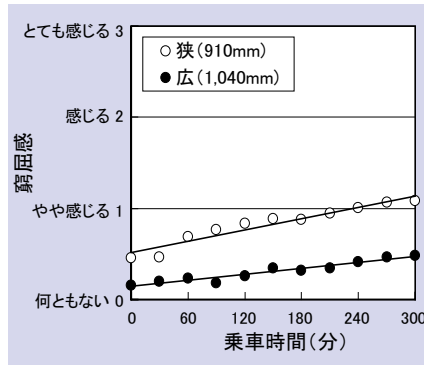


図4 窮屈感の時間変化

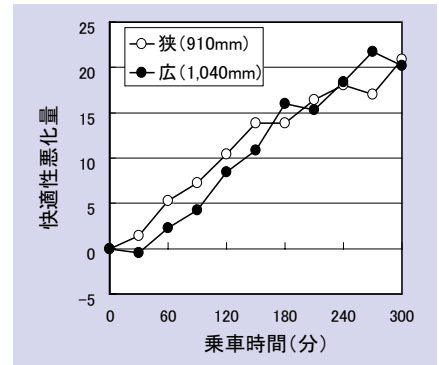


図5 快適性悪化量の時間変化

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)で質問しました。

- ④設問D(疲労感): 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、紙に印刷した線分に印をつけてもらう形で質問しました。
- 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、紙上の線分に印をつけてもらう形で質問しました。
- 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ました。
- 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、紙上の線分に印をつけてもらう形で質問しました。
- ⑧設問H(個別要因に対する重要度): 振動や騒音など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)で質問しました。
- 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)で評価させました。
- ⑩設問J(自覚症状): 眠い、だるい、落ち着かないなど17種類の自覚症状の有無を選択式で質問しました。
- 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ました。
- 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ました。

(2) 仮想旅行実験の結果

◇振動強度の影響

総合快適性(設問G)について、発車前~発車後300分の各評価値から発車前の評価値を差し引いた差分値を「快適

性悪化量」として算出し、その時間変化を表したのが図2です。快適性悪化量は乗車時間の経過にもなってS字状に推移したことがわかります。そして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いことから、長時間の乗り心地に振動強度が影響することがわかります。

そこで、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時間区切り(30分毎)で算出した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ました。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ます。ただ、今回の検討では振動強度の条件が2段階のみであるため、具体的な評価方法を論じるにはデータが十分でなく、この点については今後の検討が必要です。

◇座席間距離の影響

次に、全身8点の痛みや凝り(設問A)を平均し、その時間変化を表したものが図3です。乗車時間の経過にもなって痛みや凝りが単調増加する傾向が認められましたが、座席間距離が広い方が時間経過にもなる痛みや凝りの増加は緩やかで、座席間距離による痛みや凝りの相違は乗車時間が長くなるほど拡大することがわかりました。

2種類の空間の窮屈感(設問B)を平均し、その時間変化を表したものが図4です。窮屈間は乗車直後から座席間距離による違いがみられましたが、時間経過にもなる増加は緩やかで、乗車時間が長くなっても緩やかにしか増加しないことがわかりました。

快適性悪化量の時間変化を座席間距離ごとに示したものが図5です。これについてはやや特異的な時間推移がみられました。というのは、乗車後2時間半までは座席間距離によって快適性悪化量に違いがみられたのですが、乗車時

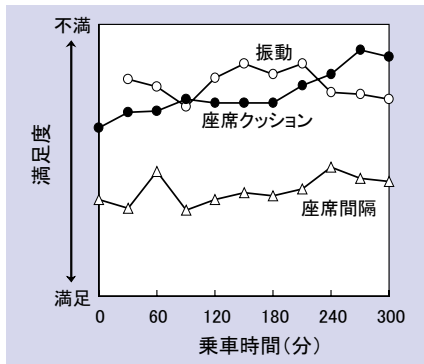


図6 満足度(不満度)の時間変化

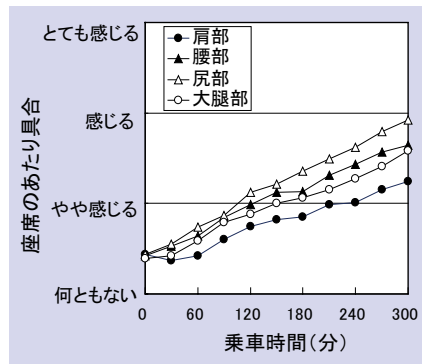


図7 座席のあたり具合の時間変化

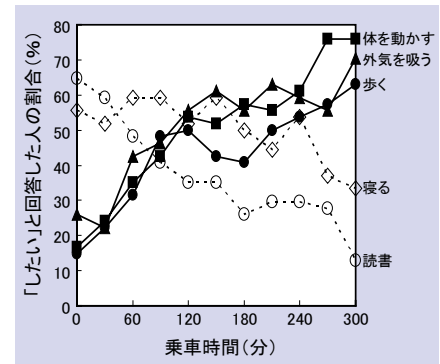


図8 車内でしたいことの時間変化

間が3時間に達する頃には違いが消失したのです。

本研究での検討範囲に関する限り、体の痛みや凝りおよび窮屈感に対しては座席間距離の影響が一貫してみられますが、一方、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ません。したがって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、座席間距離とは別の方策をとる必要があると考えられます。

#### ◇他要因の影響

個々の要因に対する重要度の評価(設問H)から満足度の評価(設問I)を差し引いて得られる差分値(以後、ギャップ指標といいます)は、いわば期待と現実とのギャップを示す指標となり、数値が大きいほど現実が厳しいことを意味します。車内の諸要因に対するギャップ指標のなかから主だったものの時間推移を図6に示します。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ました。これ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ていることによると推測できます。そこで身体と座席との当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にともなって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した(図7)。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ます。

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8に示します。乗車直後は読書のニーズが高いのですが、乗車時間の経過とともに減少しました。

睡眠の要求もやはり時間とともに減少しました。それと対に、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した。これらは乗車直後はニーズが少ないものの、乗車時間が5時間になる頃には極めて多くなっています。これは長時間にわたって身体が拘束されていることが原因で、体を動かしたいという欲求や気分転換をしたいという欲求が高まっていることの表れと考えられます。

#### 今後の課題

長時間にわたる着座中に生じる不快感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ます。国鉄時代の研究でも乗車後3～4時間を境に各種生理量に変化することが報告されており、それも下肢の血流動態との関連が論じられています。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と思われます。

長時間乗車の乗り心地には振動が影響していることはもちろんですが、それ以外の要因も無視できません。長時間旅行の疲れに振動の影響が大きいのであれば車両の振動を小さくする努力が重要です。しかし振動以外の要因の影響が大きいのであれば、その正体を突き止めてそれに応じた工夫が必要になります。このようなことを考えながら、長時間旅行の快適性向上を目指した研究に取り組んでいます。

RRR