

S8-2-6 モーションシミュレータを用いた快適性評価実験に関する考察

[機] ○林 哲也 (JR東海) [機] 須田 義大 (東京大学) 金保 忠正 (東京大学)

A Study for Evaluation of Train Ride Comfort Using a Motion Simulator

Tetsuya HAYASHI, (Central Japan Railway Company)

Yoshihiro SUDA, (University of Tokyo)

Tadamasa KANEYASU, (University of Tokyo)

This paper presents experiments to evaluate riding comfort of high speed trains using the motion simulator. The use of motion simulator has various merits for evaluation rather than the case of actual trains such as the reproducibility of the cabin vibration and setting of many conditions which are difficult for real vehicles. In the experiment, the riding condition acting combination of acceleration by centrifugal force and lateral oscillation are simulated for sitting, standing and walking condition of passengers in curving situation. Experimental plan and questionnaire are carefully considered and it was found that the experiment using simulator is effective for evaluation of comfort.

キーワード：運動シミュレータ、乗心地評価、曲線通過、乗客姿勢

Keyword: Motion Simulator, Passengers' Comfort Evaluation, Curving Situation, Passengers' Posture

1. はじめに

著者らは、油圧式 6 軸モーション装置を備え、広い周波数帯域に渡る高性能な加速度を再現し、かつ臨場感に富んだ視聴覚情報呈示が可能なシミュレータ(図1)を用いて、実用に耐えうる信頼性の高い快適性評価実験を行うための手法について基礎的な検討を重ね¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾、列車が曲線を通過した際の乗り心地評価を室内実験にて行った⁶⁾。本報ではその実験結果とそれらに対して様々な角度から行った分析結果について報告する。

なお本実験は東京大学と東海旅客鉄道㈱の共同研究の一環として実施された。

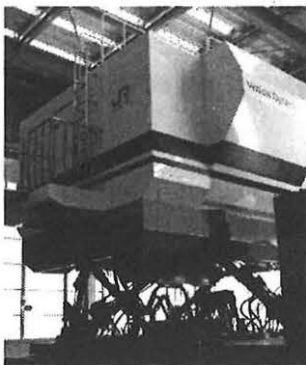


図1 実験に用いたモーションシミュレータ

2. 実験内容・実験手法に関する検討

実験の題材となるテーマの策定から、詳細な実験計画を決定するまでの流れを示す。

2.1 実験内容の策定

実験の題材とするテーマの策定にあたっては、以下の点に考慮した。

- ・現車試験においても実績が十分で、比較検討がしやすい
- ・快適性に関する過去の研究において一般的である
- ・乗客や事業者からのニーズが多くある

よって本実験では「曲線通過時に作用する左右定常加速度と振動加速度が快適性に与える影響」を例に取ることとした。

2.2 実験条件の策定

実験に用いる加速度波形は、列車が曲線を通してしている状況を想定して、左右方向の定常加速度と、振動加速度を組み合わせたものとした。

定常加速度については、ひとつの目安として広く使われている $0.8[m/s^2]$ をベースに、近年の鉄道車両では以前と比べて総合的に快適性が向上し、より大きな加速度についても許容され得る可能性を考慮して、 0.8 、 1.0 、 $1.2[m/s^2]$ の3通りを用意した。

振動加速度については、以下の理由により $2[Hz]$ の単一周波数の正弦波を用いることにした。

- ・定量的な比較が容易であり、従来から存在するいわゆる「乗心地基準」とも比較できる
- ・加速度再現能力が必ずしも高くないモーション装置でも、予備実験や追試験ができる

振幅については予備実験の結果から 0.1、0.2、0.4[m/s²]の3通りを用意した。

以上により評価の対象とする加速度条件は、定常加速度 3 通り×振動加速度 3 通りの計 9 通りとなった。

表 1 実験条件

試験順序	単調増加、ランダム順
定常加速度	0.8, 1.0, 1.2m/sec ²
振動加速度	0.1, 0.2, 0.4m/sec ² (2Hz正弦波)
被験者姿勢	座位、立位、歩行

3. 実験条件の設定に関する検討

実験条件を設定するにあたって、以下の点に留意した。

- ・実際の列車の走行条件に近い状況を模擬する
 - ・心理的要因（実験条件の知らせ方・順序）も考慮する
 - ・被験者の疲労・慣化を防ぎ、実験の効率を高める
- 具体的な進行は次の通りである。

10 秒間の加速度提示時間と 10 秒間の回答時間を 5 秒間の間隔を空けて配置し、1 条件について 30 秒の試験を連続して 10 条件行う。被験者には、評価区間および回答時間を示すために、キャビン前方に設けた字幕により表示を行うとともに、評価区間の開始に合わせて時報と同様の音声を、また終了に合わせてチャイムを聞かせることで、案内を行った。

4. 設問と回答に関する検討

実験の意図を被験者に正しく認識させるとともに、回答の精度を確保するために、以下の工夫を行った。

- ・事前説明後と休憩後に、定常・振動加速度とも最小、および両者とも最大の波形を呈示した。
- ・快適さの程度に関する情報と、鉄道車両の乗り心地として許容できるか否かの境界を見極めるために、乗り心地評価（-3～+3）と加速度の閾値と、許容限度（許せる／許せない）との 2 つの評価指標を用意した（図 2）。

許容限度	わるい← 評価（乗り心地） →よい						
許せる ☒	-3	-2	-1	0	1	2	3
許せない ☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

図 2 回答用紙

5. 実験および実験条件

5.1 実験概況

被験者は 21 名（男性 19 名／女性 2 名、鉄道関係者 9 名／大学関係者 12 名、20 代 8 名／30 代 9 名／40 代 3 名／50 代以上 1 名）であった。被験者は 6 人（一部 3 人）1 セットとして実験を行った。全被験者が全条件（加速度波形 10 個×姿勢 6 通りで 60 通り、休憩等も含め所要時間は約 1 時間）

を経験したため、得られた回答は 21×60=1260 個となった。

5.2 実験条件

本実験においては、以下の点に着目して条件設定を行った。

- (1) 加速度波形の提示順序の違いが回答に与える影響
- (2) 被験者属性の違いが回答に与える影響
- (3) 同一条件の波形に対する、回答の再現性の確認
- (4) 被験者姿勢の違いが回答に与える影響

6. 結果と考察

6.1 加速度提示順と被験者の属性

加速度波形の提示順序（単調増加とランダム順）の別による評価の平均値と標準偏差を図 3 に、許容限度の項目において「許せる」とした人の割合を図 4 に示す。また、定常加速度と振動加速度を分離し、被験者の属性（鉄道関係者と大学関係者）で区分した評価の平均値を図 5 に、許容限度の項目において「許せる」とした人の割合を図 6 に示す。

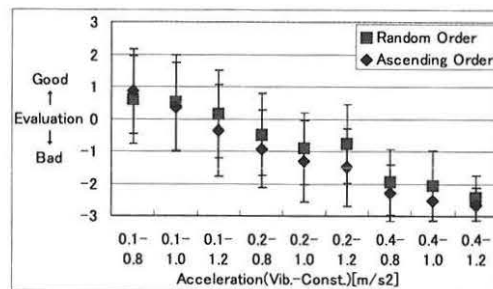


図 3 評価の平均および標準偏差

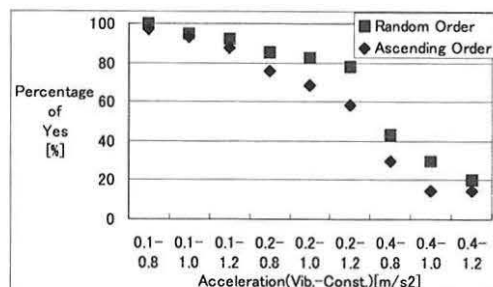


図 4 許容限度の項目で許せるとした人の割合

6.2 加速度提示順に関する考察

図 3、4 より、同一加速度に対する回答を単調増加とランダム順で比較すると、単調増加では、回答が直線的に変化しているのに対し、ランダム順では、定常加速度の影響より振動加速度が回答に大きな影響を与えたような結果となっている。このことについては、以下のようなことが考えられる。

「単調増加では、加速度の値を徐々に大きくしているが、このことが、被験者に「現在の波形は、前の波形より乗り心地が悪いはずだ」という先入観を植え付けていたのではな

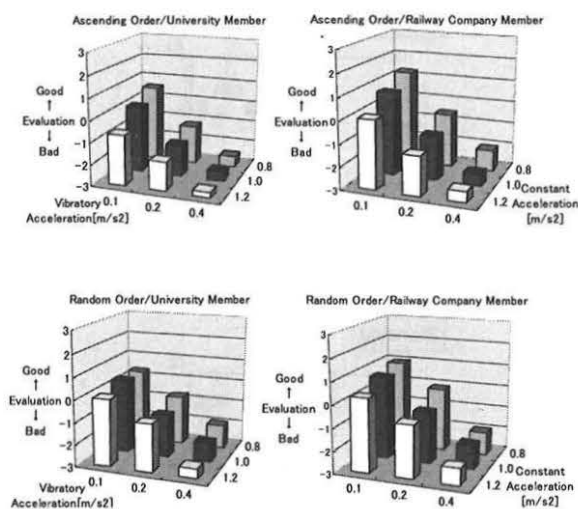


図5 評価の平均（被験者の属性別）

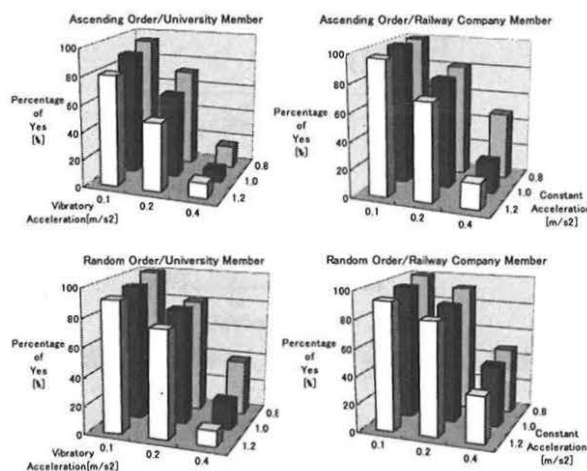


図6 「許せる」とした人の割合（被験者の属性別）

いか。いっぽう、ランダム順では、そういった先入観がないため、振動加速度値・定常加速度値の違いをより適切に認識することが出来ているのではないか。」

現実には鉄道を利用する際には、乗客は次の曲線を予測することは出来ないことを考慮すると、線路条件が決まっており、次の波形が予測できる現車試験に比べ、ランダム順を模擬できるシミュレータ実験を快適性評価に適用すれば、より精度の高い結果を得られることが示唆される。

6.3 被験者の属性に関する考察

図5、6より、全体として、鉄道関係者より大学関係者の方が全体に評価が不快側に偏っており、有意な差が認められた（表1の項目と被験者属性を要因とした分散分析。有意水準1%で被験者属性の主効果が認められた）。また、振動加速度・定常加速度とも、大きくなればなるほど評価は不快側に偏るが、その傾向には違いが見られた。更に、事前に基準波形を提示したにもかかわらず、特に大学関係者について、回答の飽和が起きやすい傾向があった。これ

らについては、以下のようなことが考えられる。

—鉄道関係者よりも大学関係者の方が回答が厳しかったことについて—

- ・今回の実験に参加した鉄道関係者は試験で振動に慣れているのに対し、大学関係者は振動に慣れておらず、相対的に評価が不快側に偏った

- ・鉄道関係者は、基準波形を参考に、回答が飽和しないよう回答を調整していたために、偏りが少ない回答の傾向となった

—基準波形を示したにも関わらず、回答の飽和が起きたことについて—

- ・加速度値に対する認識について、実験者と被験者の間にギャップがあった。即ち、実験者は事前検討において、より加速度値の大きな波形を経験していたのに対し、被験者はそのような経験をすることなく実験に入ったため、結果として、主催者が適切だとした加速度レンジに対して、被験者は偏った回答を返してきた。

6.4 回答の再現性

各条件において、1番目と10番目（同一条件の繰り返し）の回答値を比較したところ、評価/許容限度のいずれにおいても、1番目と10番目の回答に有意差は認められず、再現性を確認した（2群の差のT検定、有意水準5%）。有意確率は、評価：0.735>0.05、許容限度：0.258>0.05。

6.5 被験者の姿勢

被験者の姿勢（座位、立位、歩行）の別による評価の平均値を図7に示す。

また、「許容限度」の回答項目において「許せない」とした人の割合、および、その値をもとにプロットした「20%、40%、60%、80%の人が「許せない」とする加速度を結んだ直線」を図8に示す。⁷⁾

6.6 姿勢に関する考察

評価、許容限度のいずれについても、また、いずれの姿勢についても、提示した加速度値が大きくなるほど、評価が厳しくなるような傾向となっている。とくに、図8においてプロットした直線に着目すると、その傾向には以下のような違いが見られる。

「座位では、定常加速度の影響はほとんど受けず、主に振動加速度のみに影響を受けるような結果となっている。立位では、定常加速度、振動加速度双方の影響を受けるような結果となっているが、80%の人が「許せない」とする直線が見られないことから、座位に比べ全体としての評価が若干甘くなっていることが分かる。

さらに歩行では、立位に比べ、定常加速度の影響が更に大きくなるような結果となっており、また、全体としての評価も、座位、立位より厳しい傾向となっている。

この結果は、従来の結果のひとつである、「座位より立位のほうが厳しい評価となる。また、座位、立位とも、定常加速度、振動加速度双方の影響を受け、その影響の度合は同じである（すなわち、図8のようにプロットした直線が、座位と立位で平行となる）」という、イギリス国鉄の Pollard

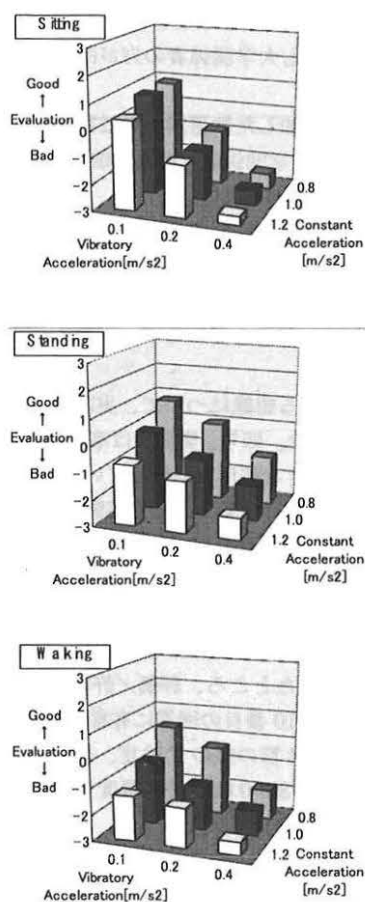


図7 評価の平均（姿勢別）

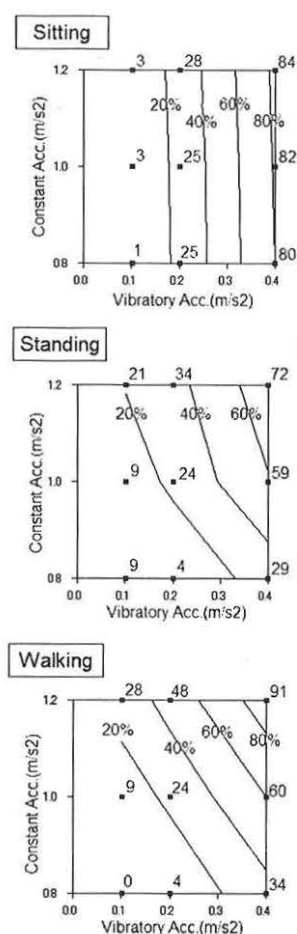


図8 「許せない」とした人の割合（姿勢別）

による曲線乗り心地のガイドライン⁸⁾とは異なる傾向となっている。⁹⁾

7. まとめ

シミュレータを用いた鉄道車両の快適性評価実験の具体例として、現車の曲線通過時の左右方向加速度をシミュレータで模擬、乗り心地評価実験を行った結果、以下の知見を得た。

- ・ 現車試験と同様の実験結果が得られた。
- ・ 実験結果が再現性に優れることが確認できた。
- ・ さらに、定常加速度・振動加速度を自在に設定できるなど、現車試験に対する柔軟性・効率性・有益性を示した。
- ・ 加速度波形の提示順を単調増加とランダム順として与え、その結果から、ランダム順の意義、更に、ランダム順も模擬できるシミュレータの有用性について確認できた。
- ・ 被験者属性の違いによる回答の傾向の違いをつかむことができた。
- ・ 同一条件に対する回答の再現性を確認した。
- ・ 同一の加振条件に対しても、被験者の姿勢によって評価の傾向が異なってくること、また、振動加速度と定常加速

度の変化に対して、評価の変化の傾向が異なってくことを確認した。

参考文献

- 1) 平沢ほか、TRNSLOG2001、383-386.
- 2) 林ほか、TRANSLOG2002、171-174.
- 3) 平沢ほか、機械学会 2003 年度年次大会、213-214.
- 4) 平沢ほか、JRail2004、87-90
- 5) 平沢ほか、D&D2003、(CD-ROM) 142.
- 6) 林ほか、TRANSLOG2004、215-216
- 7) 須田ほか、9th MoVIC、164-167
- 8) Pollard, M. G, Passenger tolerance of high-speed curving, Railway Gazette International, (1984), 11, 870-873.
- 9) 須田ほか、TRANSLOG2005