

振子車両の快適性を向上する

榎本 衛
車両構造技術研究部
(走り装置 研究室長)

梅原 康宏
同
(同 研究員)



えのもと まもる うめはら やすひろ

車両の快適性とは

交通サービスとは人や物を移動する際の無形財であり、移動の容易性を表す概念です。利用者が交通サービスに求める機能としては、安全性、経済性、速達性、利便性、信頼性、定時性、快適性（アメニティ）などがありますが、利用者はこれらのサービス水準を比較・評価して交通機関を選択しています。車両の快適性を考えてみると、それは乗客の車内快適性に結びつき、広い意味における乗り心地ということになります。

一般に、乗り心地とは車内環境が旅客に与える心理的、生理的反応として、“乗り物に乗ったときの感じ”や“乗り具合”とされ、私たちの日常生活においても、よく用いられる言葉です。通常は図1に示すように、振動、騒音、椅子の座り心地のほか、温度、質感、におい、照明、気圧変動、室内デザインなどを含めた幅広い要因によって影響を受けます。これらの要因を鉄道技術分野の問題として見ると、例えば騒音の場合、車両、軌道、架線、構造物などが相互に影響しており、学問的にも機械、電気、建築、心理、

生理などの分野が関係しています。ここでは、乗り心地に関する要因のなかで最も定量的に研究されている振動や動揺を改めて（狭義の）乗り心地として捉えて、振子車両の観点から紹介するとともに、その課題を探ります。

乗り心地評価の現状

鉄道車両の振動を評価するには、室内の床にセンサを貼り付けて、振動加速度の大きさや周波数、持続時間などを調べます。振動加速度は乗客に作用する力に相当しますので、この値が快・不快の感覚につながります。振動の原因を探りたい場合には、その元となっている台車のばねやダンパ、さらには軌道の状態を詳細に調べます。このように振動状態を調査する場合は、目的に応じた方法が選択できますが、乗り心地を評価するとなると、現在用いられている方法はそれほど多くはありません。

乗り心地という用語には「心地（ここち）」という言葉が含まれているように、最終的な評価は人間の感じ方や気分になります。つまり、実際に車両に乗っている人の大半が、「この車両は揺れなくて停まっているようだ」と感じれば「良い」の評価、「この車両はよく揺れて立っているのがやっ」と感じれば「悪い」の評価になります。営業車両の乗り心地を調査するにはこの方法が有効ですが、車両の条件を変えて乗り心地の違いを判定してもらうときは、乗客役の同じ被験者に何回も乗ってもらう必要があります。また、判定結果の傾向をつかむためには、ある程度の被験者数も必要になります。このように乗客や被験者による乗り心地調査は有用には違いないのですが、効率の点からは決して望ましい方法とはいえません。

そこで、事前に人間の感覚と物理量の関係を求めておいて、その後は物理量を計ることによって、その関係から乗り心地の良い・悪いを判定します。

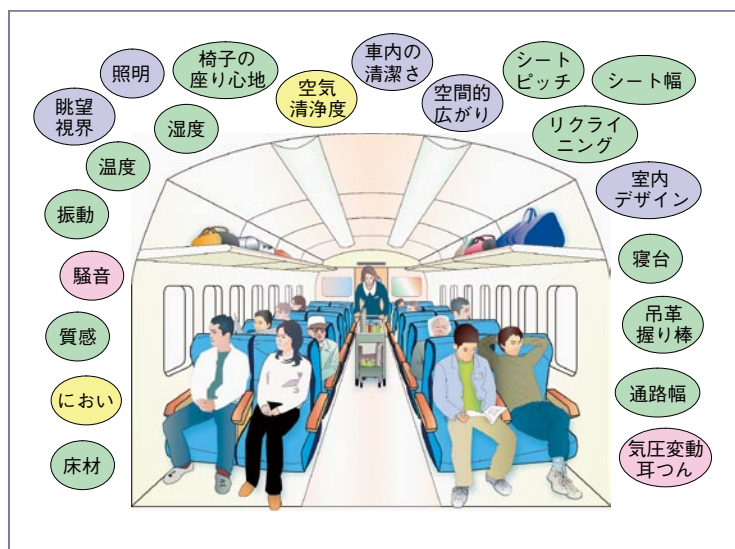


図1 乗り心地に影響を与える要因

よく用いられる評価と判定方法を次に示します。

- ① 曲線走行時の遠心力によって生じる車体の左右加速度の大きさが目安値を超えないこと。左右とはまくらぎ方向のことで、目安値は 0.78m/s^2 (0.08G)です。
- ② 曲線の入口と出口にあたる緩和曲線で発生する車体のロール角速度とロール角加速度の大きさが目安値を超えないこと。ロールとは進行方向の軸まわりの回転動揺のことで、目安値はそれぞれ $5^\circ/\text{s}$ と $15^\circ/\text{s}^2$ です。
- ③ 車体の左右・上下・前後振動加速度の振動数と振幅によって、乗り心地線図から「非常に良い」～「非常に悪い」の5段階で判定します。
- ④ 車体の左右・上下振動加速度を人間の感覚を考慮したフィルタで補正したあと、一定時間の実効値から乗り心地レベル (dB) を求めて、「区分1 (非常に良い)」～「区分5 (非常に悪い)」の5段階で判定します。

①、②は個々の曲線ごとの評価、③は数秒という短時間(特定地点)の評価、④は3分が標準時間です。これらの評価方法は速度向上を行う際の判断指標にも用いられます。

乗り心地のとらえ方

ここで乗り心地のとらえ方を考えてみます。乗客の感じ方という点からは、乗客の姿勢や車両の振動の方向と作用時間が相互に関連をもちます。走行地点の軌道状況は振動の発生要因となり、人間の感覚と結びつけるためには物理量の計測も必要になります(図2)。また、人間の感覚は質問に答える形のアンケートで調べることが多いのですが、生体から計測される生理的指標の適用も研究されています。前項で示した判定方法①～④は、立位または座位の乗客に適用する、左右・上下・ロール方向の振動に対して定められたものです。さらに振子車両に対しては、低周波振動に起因するといわれている乗り物酔いの課題が指摘されており、その評価と低減技術について以降で説明します。

乗り物酔い評価の現状

振子車両における乗り物酔いの問題は、日本だけでなく諸外国でも注目されています¹⁾。乗り物のなかでも船舶の酔いに関する研究が先行して行われており、低周波の上下動揺が酔いの発生に影響することが明らかにされています。その場合の評価指標としてMSDV (Motion Sickness Dose Value, 乗り物酔い暴露量値) が提案されています²⁾。この指標は上下振動と酔いの関連が高くなるように、図3の「船舶」に示す 0.167Hz をピークとしたフィルタで補正した上

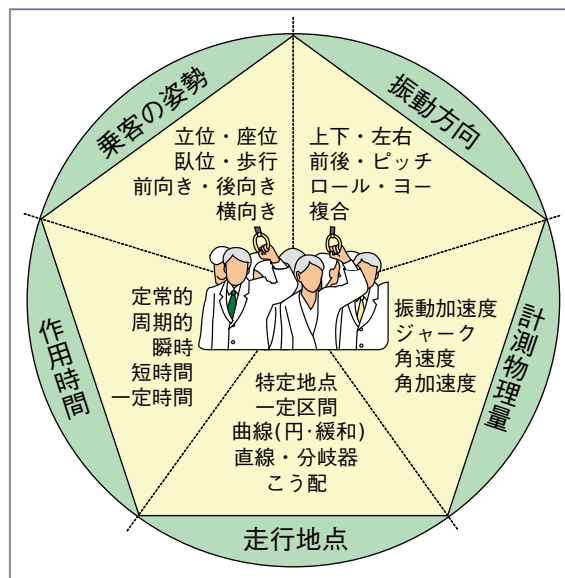


図2 乗り心地のとらえ方

下振動を累積して求めます。しかし、この指標は船における低周波の上下振動が対象であるため、そのまま鉄道の酔いに適用することができません。そこで鉄道総研では、酔いの発生と振動との関係を把握するために、振子車両が運行されている線区を中心として、乗客へのアンケート調査と振動計測を行いました。その結果から低周波の左右振動が酔いの発生に影響していることがわかりました。そして鉄道の酔いの指標として、図3の「鉄道」に示す $0.25\sim 0.315\text{Hz}$ をピークとしたフィルタで補正した左右振動を累積して求めるMSDV-Yを提案しました。この指標は評価時間を定めれば他のデータと相対的に比較することができ、値が小さいほど良い評価となります。

この指標の評価時間を短くして、連続的にMSDV-Yを

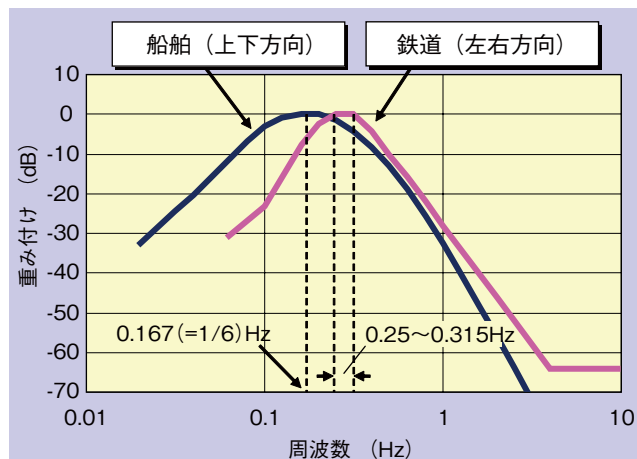


図3 乗り物酔い評価フィルタ

求めることにより、乗り物酔いに影響を及ぼしている区間を特定することができます。実際の例として、振子車両の連続曲線区間におけるMSDV-Yと周波数解析結果を図4に示します。MSDV-Yは緩和曲線で大きくなっており、その原因が0.5Hz以下の低周波振動であることがわかります。

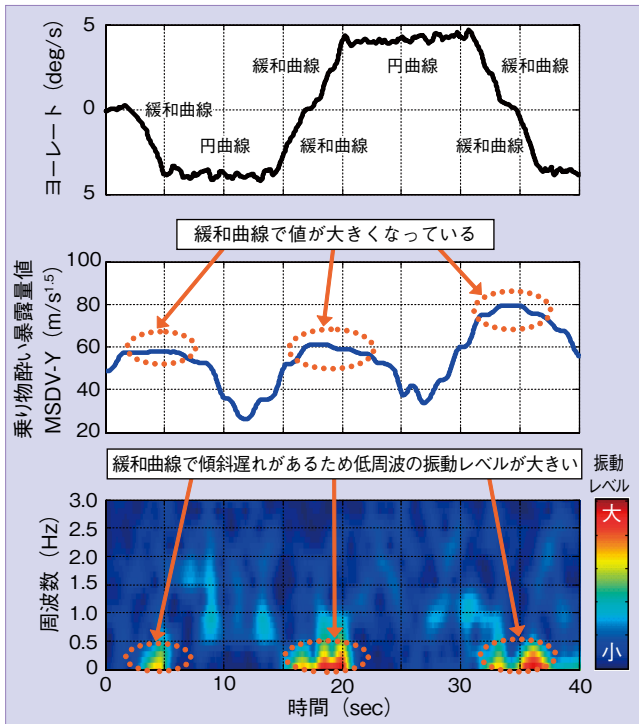


図4 振子車両のMSDV-Yと周波数解析結果

乗り物酔いの低減技術

振子車両ではもともと、単振子作用や振子アクチュエータによる車体ロールの固有振動数が乗り物酔いを誘発しやすい振動数領域に近いため、酔いの発生に影響を及ぼしていると考えられています。また、従来の振子制御システムでは、ATS地上子の検出エラーによる地点検出フェイルが発生して、自然振子に戻ることに伴う乗り心地の悪化が問題となっています。そこで、これらの問題を改善するために、鉄道総研では新しい振子制御システムを開発しています。

地点検出については、GPS測位、曲率照合、車輪回転数累積の併用方式として、従来に比べて高い位置精度と安定性をもっています。振子アクチュエータは空圧式から応答性の高い電動油圧式に変更することで、目標値通りに制御することが可能となっています。

振子パターンは従来のCAモードにかえて、新たにJTパターンとJTMパターンを開発しました(図5)。JTパターンとは車両が走行時に発生する左右振動加速度やロール角速度などを予測して、緩和曲線における乗り心地指標が最適になるように計算して求められる振子パターンです。さらにJTパターンの考え方を踏襲して、MSDV-Yの改善に重みを置いたのがJTMパターンです。

これらの新しい振子システムの効果を走行試験で確認しました。図6は同じ曲線を通じた際のMSDV-Yの比較結果を示しています。従来振子と比較してJTMパターンによる振子の方が、MSDV-Yを低く抑え

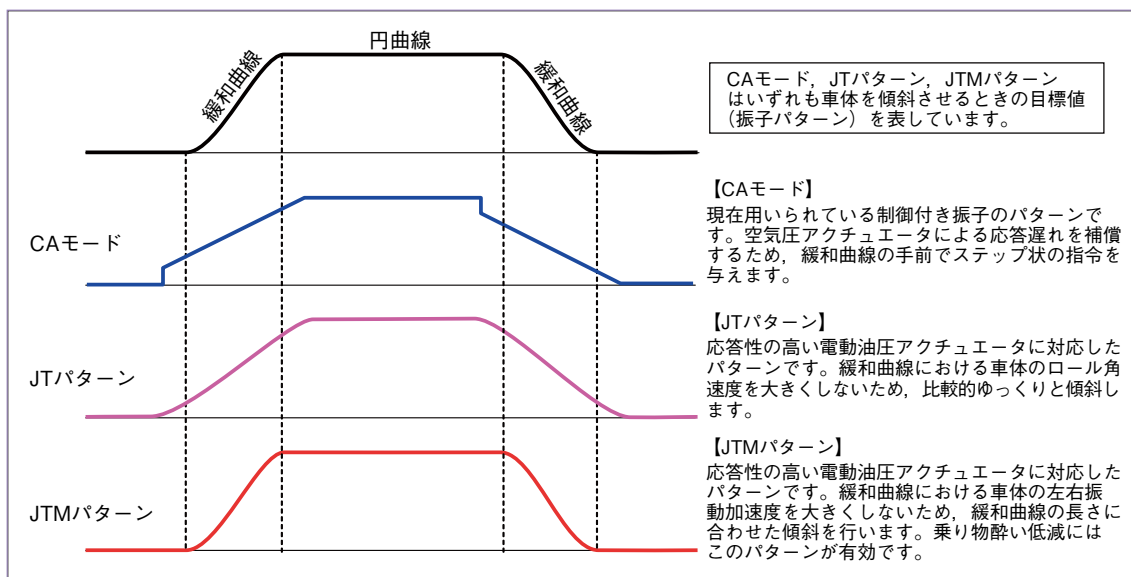


図5 振子パターンの形状

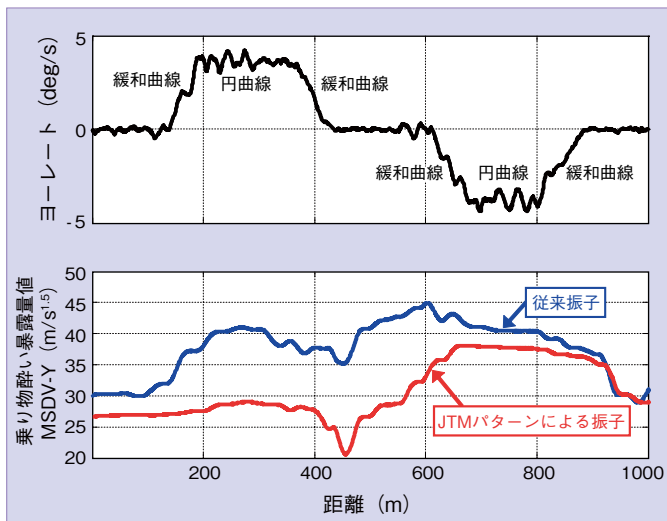


図6 JTMパターンによる乗り物酔いの改善結果

ていることがわかります。また、試験区間全体で評価した場合も、従来振子と比較してMSDV-Yを小さくすることができ、乗り物酔いの改善に効果のあることが確認できました。

乗り物酔い評価の難しさ

乗り物酔い暴露量値MSDV-Yは左右の振動加速度に対して適用しますが、これを抑えることを最優先にすると、ロール角速度などのロール成分の振動が増加します。図7に示すように、曲線に合わせて振子すると左右振動加速度は抑えられますが、ロール角速度が大きくなります。反対に、曲線の手前から振子するとロール角速度はそれほど大きくなりませんが、左右振動加速度に変化が現れて低周波動揺となり、これが累積することによって乗り物酔いの原因になります。この傾向は速度が大きくなると、より顕著になり、2つの物理量はトレードオフの関係にあります。鉄道総研では図8の車内快適性シミュレータを用いて、これらの物理量と人間の感じ方の調査をしているところですので、結果を別の機会に紹介したいと思います。さらに、乗り物酔いを起こす要因には振動以外の要素もあるといわれています。たとえば、図1に示した要因のなかでは、眺望や視界などの視覚的要因やにおいも関係があるかも知れません。このように乗り物酔いという生理的症状を生じる原因はまだ解明されていないことが多く、評価の困難さに結びついています。

おわりに

走行試験のときに複数の関係者から聞く乗り心地の感想が異なることがよくあり、評価が全く反対ということもあります。なかでも乗り物酔いに関しては、経験した人にとっ

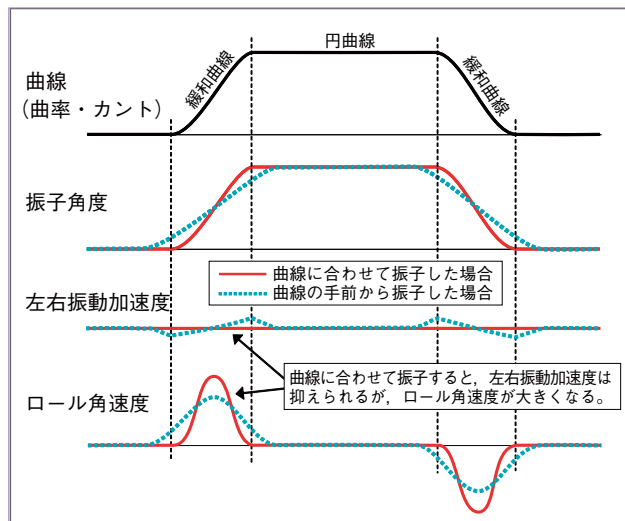


図7 左右振動加速度とロール角速度の関係

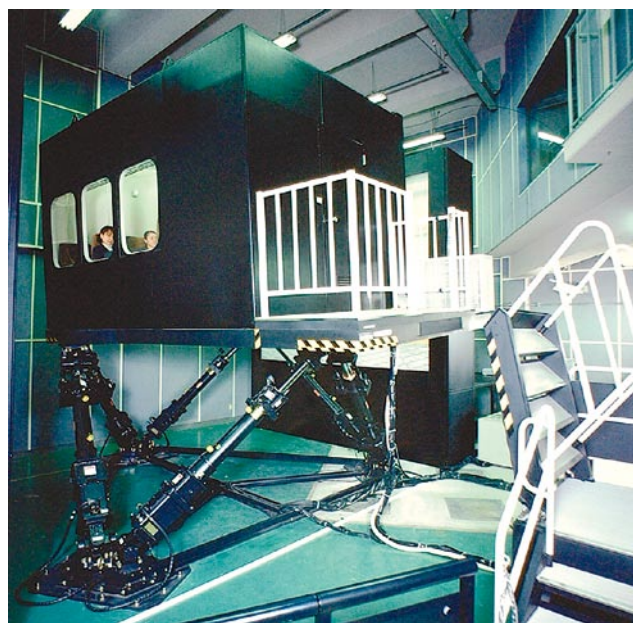


図8 車内快適性シミュレータによる乗り心地試験

てはとてもつらいものですが、何ともない人にとっては理解しがたいことのようにです。このように振動に対する人間の感受性には個人差があることを認識させられますが、一方で、人間の感覚に一致した乗り心地評価方法の開発が求められています。より快適な車両をめざして、今後とも努力していきたいと思ひます。RRR

文献

- 1) Johan Förstberg : Ride comfort and motion sickness in tilting trains, TRITA-FKT Report 2000 : 28, 2000
- 2) 全身振動 - 第2部 : 測定方法及び評価に関する基本的要求, JIS B 7760-2 : 2004 (ISO 2631-1 : 1997), 日本規格協会, 2004