

## 誘眠効果をもたらす機械的環境の研究\*

木村 仁<sup>\*1</sup>, 遠藤 真美<sup>\*2</sup>  
小関 道彦<sup>\*1</sup>, 伊能 教夫<sup>\*1</sup>

## Sleep-Inducing Factors in Mechanical Environment

Hitoshi KIMURA<sup>\*3</sup>, Mami ENDO,  
Michihiko KOSEKI and Norio INOU<sup>\*3</sup>Department of Mechanical and Control Engineering, Tokyo Institute of Technology,  
2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo, 152-8552 Japan

A phenomenon that passengers are getting sleepy is often found in running cars or trains. If a mechanism can reproduce this phenomenon, it is feasible to put insomnia patients or infants to sleep without any harmful effects. This will bring extreme benefit for insomnia patients or parents of babies. The purpose of this study is to elucidate the sleep-inducing factors of running cars or trains, and the final goal is to develop a machine which reproduces the environment to put people to sleep. For the first step of this study, we investigated the relationship between sleepiness and vibrations on several trains. The sleepability of each train is discussed by the ratio of sleeping passengers. According to the vibration analyses, the results suggest that comfortable vibration for sleep has mainly low-frequency (~2 Hz) vibration with particular fluctuation. In addition, it is also guessed that low level jerks contribute the sleepability.

**Key Words:** Comfortability in Riding, Biomechanics, Vibration of Mechanism, Sleep Inducing Factors

## 1. 結 言

現在、不眠症に苦しむ人や、子供の寝付きが悪くて困っているといった、睡眠に関する悩みが社会的な問題として注目され始めている。不眠に関しては睡眠薬を服用する方法が一般的であるが、副作用や依存の問題がある。また、乳幼児については日常的な睡眠薬の服用は不適切であり、寝つきにくい子供に対する効果的な対策はほとんど存在しない。特に核家族化が進む現代の日本では、子供の寝付きの悪さは保護者にとって大きな負担であることは想像に難くない<sup>(1)(2)</sup>。

もし薬物を使用せずに眠りを誘導できるような装置があれば、不眠が原因で生じる上記の問題に対して大きな効果を得ることが期待できる。また、例えば運送業務に携わるドライバーなど、限られた時間で効果的に休息の効果を得たいような人に対しても大変有用であることが予想される。そこで本研究は走行中の電車や自動車の中で眠気を感じる、あるいは眠ってしまう

といった、日常的に良く見受けられる現象に注目した。この現象は走行中の車両が持つなんらかの機械的環境が人間の睡眠を誘導していることが理由と考えられる。このような睡眠を誘導する機械的環境を再現することが本研究の目的である。この目的のためにはまず走行中の車内のどのような環境要素が睡眠に効果的に寄与しているかを解析する必要がある。

眠りを誘導する環境には光、温度、音や振動、あるいは室内の酸素濃度など、さまざまな要素が考えられる<sup>(3)</sup>。光については、暗い方が眠くなる事は一般的に知られている事実ではあるものの、昼間の明るい車内でも眠くなる現象はしばしば生じる。このため光が走行中の車両がもたらす主たる誘眠要素とは言いにくいと考えられる。温度については環境が適切な温度範囲に保たれる事が眠るために必要なのは自明であるが、これは既存の空調設備で実現可能であり、また適温に維持するだけで眠くなるとは考えにくい。やはり主たる誘眠要素とは言いがたい。その他酸素濃度については手軽に調整を行うことは難しい上に、生命に重大な影響を及ぼす可能性がある。誘眠装置は一般家庭で用いることを前提とするため、危険性が低く、低コストである必要がある。したがって本研究で酸素濃度を

\* 原稿受付 2007年7月27日。

<sup>\*1</sup> 正員、東京工業大学大学院理工学研究科機械制御システム専攻(〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1)。<sup>\*2</sup> (株)リコー(〒104-8222 東京都中央区銀座8-13-1)。

E-mail: kimura@mech.titech.ac.jp

取り扱うことは望ましくない。これらの理由から本研究では走行中の車両内の環境要素のうち特に振動に注目し、振動と眠りやすさとの関係について調査を行うこととした。振動要素は乗り心地の悪さや、眠りを妨害する要素として研究されている事例が多い<sup>(4)(6)</sup>。しかし、電車の振動を元にした  $1/f$  ゆらぎ<sup>(7)</sup> を伴う低周波振動が誘眠効果を持つとする研究事例<sup>(8)</sup> や、心地よい揺れに関する研究<sup>(9)</sup> はいくつか存在している。また、日常の経験からも走行車両内の振動が誘眠効果を持つことは十分考えられる。

本論文では走行車両内の振動測定結果と乗客の睡眠率との関連について述べ、効果的な誘眠効果を持つ振動について議論する。

## 2. 車両の振動と誘眠効果

### 2.1 走行中の電車内における振動測定

本研究では走行中の車両内の振動を測定することが必要であるが、測定の対象となる車両には主に自動車と電車が挙げられる。測定の再現性を考慮した場合、車内環境が道路状況や運転者に大きく依存する自動車よりも、電車の方が望ましいと考えられる。そこで本研究では電車を測定対象として、複数の路線で車両の振動と眠っている人の割合を同時測定することとした。

電車内の振動は加速度センサを用いて測定を行う。図1は本測定における座標軸の設定を示している。

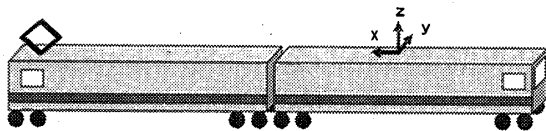


Fig. 1 Direction of acceleration sensors

測定デバイスにはアナログデバイス社製の加速度センサ ADXL103 (1方向) と ADXL203 (2方向) を用い、これらを組み合わせて3軸の加速度センサとして使用した。鉛直方向の重力加速度は解析時にデータから除外している。センサの設置箇所は電車の剛体部分である窓枠とした。これは例えば誘眠効果を持つ揺れる椅子のような装置の設計を想定した場合、人体に接触するクッションのような柔らかい部分の振動パターンよりも、シート全体を揺動させる機械(剛体)部分の振動パターンの方が有用な情報となることが予想されるためである。振動測定は路線A~Iまでの都内および東京近郊を運行する9路線の電車内で行った。

電車の乗り心地については各方向の振動成分についてそれぞれ評価する試みが行われており<sup>(10)</sup>、この評価基準によると xyz 方向の振動周波数と乗り心地はそれ

ぞれ別個に評価されている。そこで本研究では主にどの方向の成分が最も睡眠に寄与するかについて検討することとした。図2および図3はそれぞれ路線Dと路線Fのxyz各軸方向の振動波形とFFTによって得た周波数分布である。

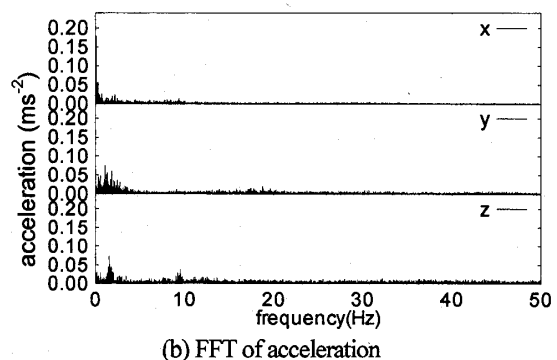
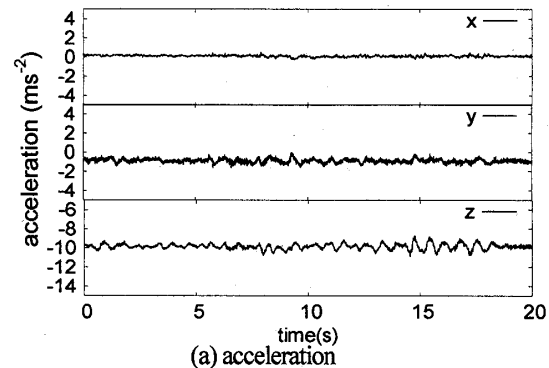


Fig.2 Vibration measurement of Line 'D'

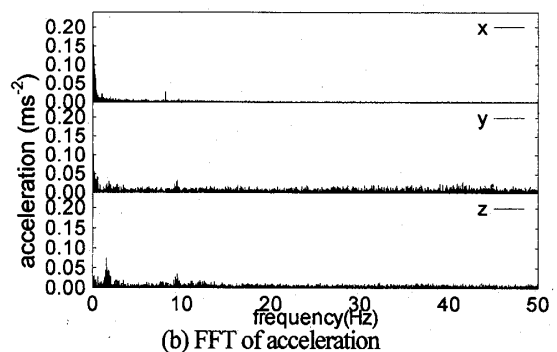
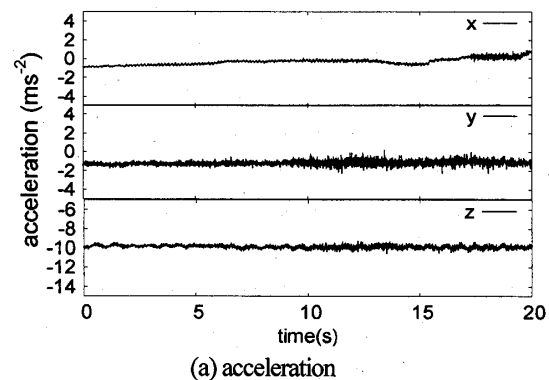


Fig.3 Vibration measurement of Line 'F'

進行方向(x方向)の振動は図2および図3で見られるように、両路線ともほとんどが低い周波数成分であった。これは進行方向の振動(加速度)には発車後と停車前の加減速と一定速度における走行によるものが多く、周波数の高い振動成分を生じる要素が少ないためと考えられる。進行方向の加速度成分は後述する車両の躍度を測定する際に重要である。

横方向(y方向)の振動については、対向列車とすれ違う際やトンネル内に進入する際に振動が大きくなることが確認されている。このような振動は人体には突発的な衝撃として感じられるため、眠っている乗客が一時的に目を覚ますような現象が考えられるが、発生頻度はどの電車でも多くないため、眠りという観点からはさほど大きな影響を及ぼさないと考えられる。また、図2および図3のy方向の加速度は、両者ともに振動の中心が $-1\text{m/s}^2$ になっているが、これはセンサを電車の窓枠に固定したためセンサ設置箇所が若干傾いていたことが原因と考えられる。

鉛直方向(z方向)の振動成分の解析結果は、体感される振動の大きさとかなり一致するものとなった。すなわち、大きく揺れたと感じた瞬間にはz方向の振動成分変化(振幅)が大きく、また、揺れがあまり感じられない場合にはz方向の振幅も小さいという結果が得られた。また、全体的傾向としても路線Dよりも路線Fの方が振動は小さいと体感されており、鉛直方向成分の加速度波形の振幅の大きさの傾向と一致している。このことから体感される車両の振動は、z方向の振動の影響が大きいと考えられる。本論文では振動について論じる際、主にz方向の振動成分について議論していくこととする。以下文中で特に説明のない振動についての議論は、z方向の振動が対象である。

本論文ではFFTは走行中のデータのうち、20秒間のデータを切り出して周波数分布を得ている。これは測定した路線群は東京およびその近郊を運行しているため駅間距離が短い路線も多く、サンプリング時間をあまり長時間に設定すると一部の路線では駅で停車中の振動データまで含まれてしまうためである。振動の測定条件を走行中の振動に統一するためには、これは望ましくない。また、図4で示されるようにFFTの解析結果は20秒程度以上のサンプリング時間があれば、全体的傾向が殆ど変化しないことも確認している。

同じサンプリング時間でも測定時刻によって電車の振動がどの程度変化するかを調査も行った。図5は路線Bで測定した振動測定結果のデータの内、異なるふたつの20秒間のデータを取り出して得た周波数分布である。二つのグラフでは各成分の大きさや、周波数

分布は多少異なるが、1Hz付近で最も大きな値をとり、10Hzおよび20Hzで小さなピークをとるなど、ほぼ同じ傾向であることがわかる。

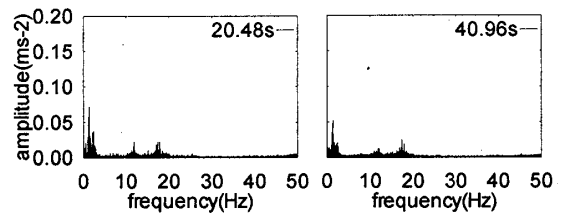


Fig. 4 FFT Dependency on Data Length (20s and 40s)

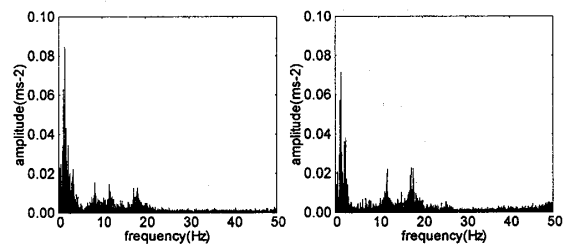


Fig. 5 FFT results dependency on measurement time (Line 'B')

**2・2 睡眠率と振動** 電車の路線あるいは車両の種類によって眠りやすい列車と眠りにくい列車を区別することは可能であると考えられる。本研究では複数の営業路線で着席している乗客に対する眠っている人の割合を睡眠率 (RSP: Ratio of Sleeping Passengers) と定義する。実際には一般営業路線では走行する土地や駅間距離、運転間隔なども同一ではなく、利用客層も異なる。したがって睡眠率が高いというだけでその列車が眠りやすいと断定はできないが、各々の列車の眠りやすさを示す一つの指標としては十分有効であると考えられる。一般にヒトはサーカディアンリズム(概日リズム)と呼ばれるほぼ1日を周期とする生物時計を持っており、眠気は時刻とともに変化することが知られている<sup>9)</sup>。したがって、生活リズムの異なる人々が集まる電車内において、睡眠率の計測は1日のうちのあらゆる時間帯で乗客全員に睡眠判定装置を取り付けて行うのが理想的である。しかし、このような計測には膨大なコストが必要となり現実的でないため、本研究では各路線における列車の機械的環境以外の条件をなるべく近づける目的で同一時間帯において睡眠率の測定を行うこととした。計測時間帯は眠気がすこし高まる正午過ぎの時間帯を外した平日の午後2時～午後4時とした。なお、今回の測定では測定者が目視でうつむいているか、目を閉じている乗客を眠っているとしてカウントした。このため、乗客の睡眠状態の詳細は不明である。睡眠状態の厳密な判定のためには乗

客の脳波などを測定<sup>(11)</sup>しなければならないが、全体的な傾向を得るだけであれば目視による計測でも有効であると考えられる。また、走行中の車両内で脳波を測定することは実験コストが高いため、本研究では被験者の腹囲の変化から呼吸を測定する事で睡眠判定する方法<sup>(12)</sup>も検討している。今回の測定ではできるだけ多くのデータを得るために、9 路線において測定困難な状況の車両を除いて可能な限り先頭から最後尾までの車両について測定した。これを各々の路線で2~4 回繰り返し行って総乗客数と睡眠中の乗客数をカウントした。ただし、測定は複数駅をまたぐため、その間の乗降客は存在する。表 1 は測定によって得られた乗客数と睡眠中の乗客の人数を総計したものと、路線ごとの睡眠率を示している。カウントした乗客数は路線によって 161~1114 人である。今回の測定の結果から、路線 A, B, C は眠りやすく、路線 H, I は眠りにくいと考えられる。

Table 1 Number of Passengers and Sleeping Passengers

line	Num. of Sleeping Passengers	Num. of Passengers	Ratio of Sleeping Passengers
A	298	931	0.32
B	266	933	0.29
C	224	852	0.26
D	267	1114	0.24
E	173	970	0.18
F	148	845	0.18
G	145	857	0.17
H	26	289	0.09
I	4	161	0.02

次に走行中の列車の睡眠率の計測と同時に行った振動測定について議論する。路線 A~I の振動データから周波数分布の解析を行った結果を図 6 に示す。各路線の左側のグラフは 0~50Hz までの分布であり、右側のグラフは左側のグラフの 0~5Hz までの分布を拡大したものである。

この解析から睡眠率による区分で眠りやすいとされた路線では主なピークが 1~2Hz, 特に 1.5Hz 付近の領域に集中しているが、眠りにくいとされた路線はピークが 20Hz 程度の範囲にまで広がっているという結果が得られた。また、振動加速度の大小にはあまり睡眠率との相関は得られなかった。この結果は、振動の大小よりも振動の周波数の方が眠りに影響しており、特に 1~2Hz の振動を多く含む路線が眠りやすいことを示唆している。また、2Hz 以上の周波数の振動が睡眠を妨げるとも考えることができる。

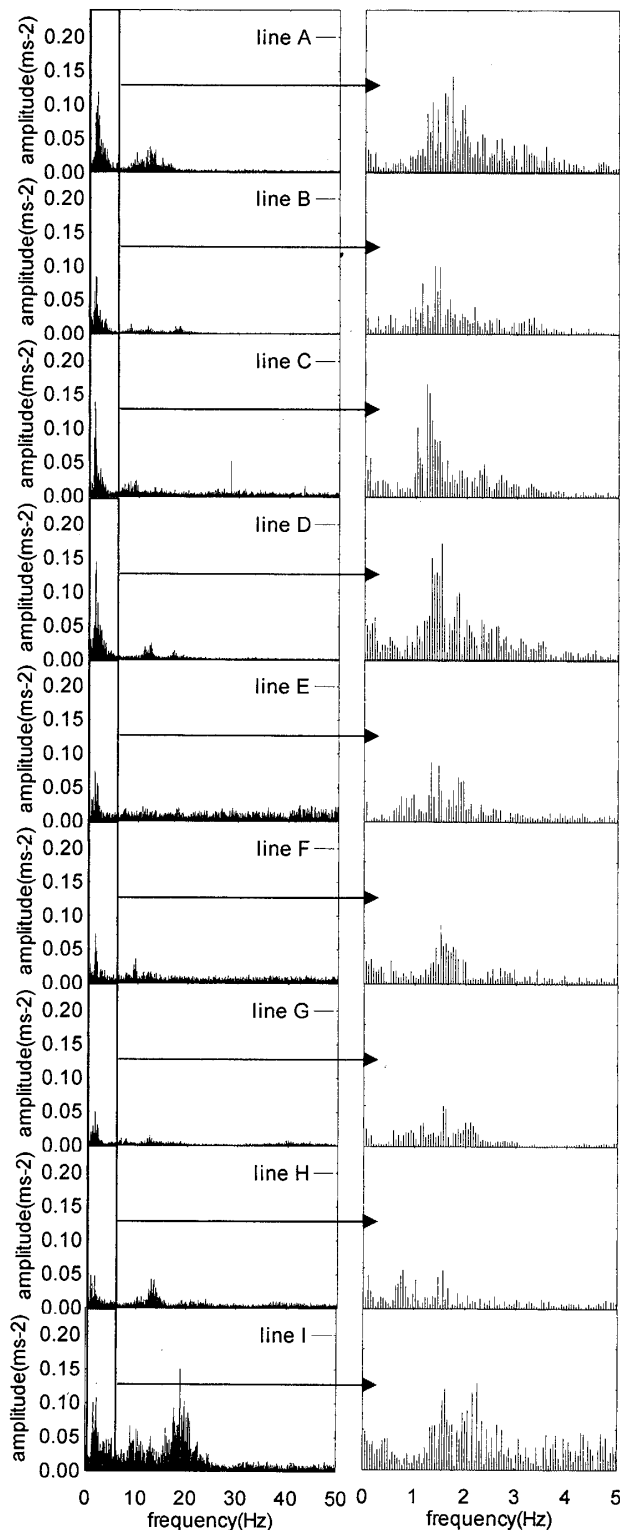


Fig. 6 FFT Results of Railway Lines 'A~I'

**2.3 低周波ピーク比と睡眠率** 前節で述べた結果から、列車の眠りやすさは 1~2Hz でのピーク値と、その他の周波数成分の大きさの比によって異なると推測される。そこで本研究ではこの低周波とそれ以外の振動のピーク大きさの比を用いて、周波数分布の

特徴を定量的に評価することを試みた。まず、図7に示すように1~2Hzでの極大値をaとし、10~20Hzでの極大値をbとしたとき、両者の比であるa/bを本研究では低周波ピーク比 (Ratio of Peak Intensities : RPI) として定義する。ただし、図5に示したように同一の路線でもその周波数分布は全体的な傾向は同じだが各成分のピーク値は時間によって変化する。このため、本論文では走行中のデータを20秒ずつ順に切り出して走行中の全ての時間において低周波ピーク比を各々計算し、それらの平均値をRPIの値として採用した。

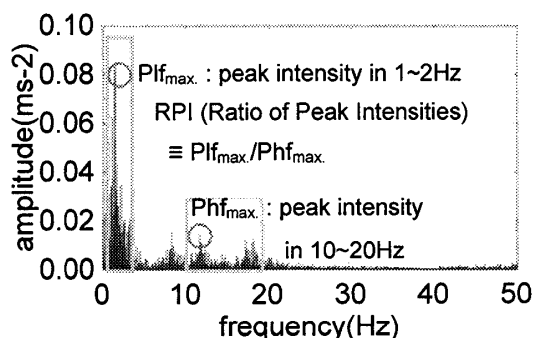


Fig. 7 Definition of RPI

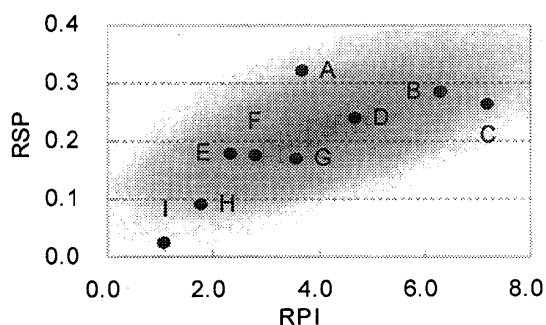


Fig. 8 Relationship between RSP and RPI

低周波ピーク比を横軸、睡眠率を縦軸にして得られた結果を図8に示す。両者の積率相関係数は0.783であり、 $p$ 値は0.013であったため両者には有意の正の相関が見られる。さらに、低い低周波ピーク比で高い睡眠率を示す路線Aのデータを除いた場合、相関係数は0.91、 $p$ 値は0.002となるため、RPIとRSPには強い正の相関があると考えられる。ただし、路線Aのように低い低周波ピーク比の列車でも、高い睡眠率を示す路線も存在している。路線Aは駅間距離が他路線と比較してかなり長く、乗客にとって眠りやすい路線だとは考えられるものの、電車内の環境には低周波ピーク比以外にも眠りに大きく影響する振動要因が存在すると考えることもできる。

**2・4 躍度と睡眠率** 電車内の環境として大きな雑音がある場合や、気温が適切な温度から大きく外

れている場合等の極端な条件を除けば、直感的に眠りに寄与する要因は音と振動であると考えられる。音についてもやはり睡眠を妨害する騒音についての研究<sup>(13)</sup>が多いが、特定の音楽が眠りを誘導するとする研究<sup>(14)</sup>もある。そこで、音については異なる路線内で録音による測定を行い、解析を試みた。しかし、今回の測定結果からは各路線において特徴的な差異を見出すことはできなかった。そこで本研究ではRPI以外で眠りに大きく影響する要因として、急激な動作の指標である躍度に注目した。躍度とは躍動や加加速度なども呼ばれ、加速度の時間微分値である。大きな躍度はすなわち加速度の急激な変化であり、生物に不快感を与えたり機械装置に対して損傷を与えたりすることが知られている。また、乗り心地と躍度とは相関があることも報告されている<sup>(15)(16)</sup>。躍度の方向と乗り心地の関係については議論の余地があるものの、本論では電車の加減速などを考慮して一番大きな躍度が現れやすいと思われる進行方向について議論する。

躍度を解析するための予備実験として、乗用車の急ブレーキ時に発生する躍度の解析を行った。この測定では安全を確保した私有地内において、シートベルトを着用した上で発進と急停止を繰り返した際の加速度を計測した。急停車により発生した衝撃は座席上に置いたものが転がり落ちるほどのものであった。なお、この実験では加速度センサは車に取り付けられたチャイルドシート上に固定した。

測定した進行方向の加速度と、これにより得られた躍度を図9に示す。急ブレーキをかけると、加速度が大幅に変化し、大きな躍度が現れていることがわかる。しかし、一般に乗客を乗せて走行する電車では、このような急激な加速度変化はしないものと考えられる。

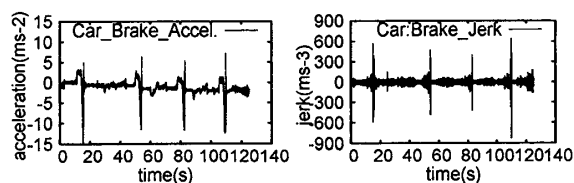


Fig. 9 Acceleration and Jerk of a Car with Hard Braking

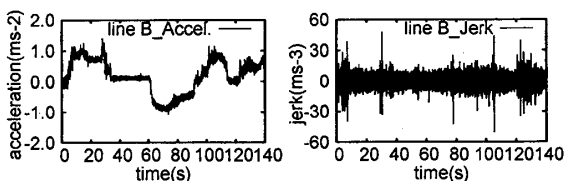


Fig. 10 Acceleration and Jerk of a Train (line 'B')

実際に路線Bにおける進行方向の加速度と躍度を調べてみると、図10に示されるように躍度のS/N比は非常に小さく、ノイズに埋もれてしまう程度であった。本研究では、注目する大きな躍度は電車内では高い周波数を伴って現れないことから、測定データに大幅なノイズリダクションを行うこととした。今回はピーク値とピーク幅を保持しやすい Savitzky-Golay フィルタを用いて加速度データを平滑化処理し、一次微分した後再度同様の平滑化を行って躍度を求めた。この結果、乗用車および路線Bでの躍度は図11のようになった。図9、図10と比較すると大きな躍度のみを取り出せており、比較が容易になったことがわかる。

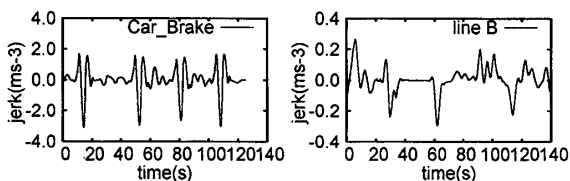


Fig. 11 Filtered Jerks of Car and Train

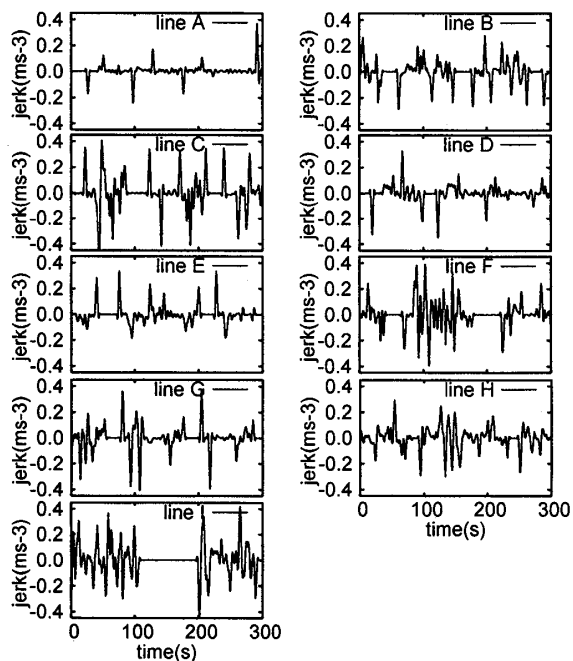


Fig. 12 Filtered Jerk of Each Train

図12に各路線の進行方向(x方向:図1参照)について任意の300秒間の躍度を計算した結果を示す。各路線の結果を見比べると、先ほど注目した特に相関から大きく外れた路線Aと路線Cでは明らかな違いが得られた。すなわち、図12で示されるように路線Aでの躍度が極めて小さいのに対して、路線Cでは大きな躍度が度々現れていることが確認できる。

本論では  $0.3\text{m/s}^3$  の左右方向躍度が乗り心地を維持する許容限界であるという報告<sup>(17)</sup>を参考に、この値よ

りやや低い  $0.2\text{m/s}^3$  が眠りを阻害する閾値と仮定した。全ての路線について  $0.2\text{m/s}^3$  以上の躍度が300秒間で何回出現するかを調べたところ、表2のような結果が得られた。重複となるが、図8に表2の躍度出現頻度を書き加えたものが図13である。図中かっこ内の数字が躍度出現頻度である。相関より上に外れるもの、すなわち低周波ピーク比に対して眠りやすくなっているものは躍度出現頻度が低く、下に外れるもの、すなわち低周波ピーク比に対して眠りにくくなっているものは躍度出現頻度が高いことがわかる。この結果のように、RPIが高い振動パターンを持つ電車でも、大きな躍度の頻出により眠りは妨げられると考えられる。

Table 2 Jerk Frequency in Each Railway Line

Railway lines	A	B	C	D	E	F	G	H	I
RSP (%)	32	29	26	24	18	18	17	9	2
RPI	3.7	6.3	7.2	4.7	2.3	2.8	3.6	1.8	1.1
Jerk Freq.	2	11	15	5	5	12	7	7	17

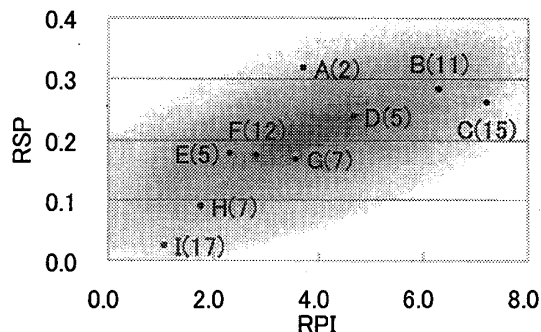


Fig. 13 Relationship between RSP and RPI and Particular Jerk Frequency

2・5 頻度が最大となる周波数 図5に示したように、走行中の電車内の振動の周波数分布はほぼ一定の傾向を示すが、周波数分布が常に同一であることは考えにくい。電車の周波数分布は微妙に変化していると考えの方が自然であり、例えば  $1/f$  ゆらぎのような傾向が得られる可能性がある。そこで各時刻で走行中車内の振動加速度に含まれる周波数分布がどのように変化するかについて調査を行った。

図14は路線Bの振動について、FFT解析結果の時間変化をカラーマップで示したものである。このグラフではまず振動データを10.24秒ずつ切り出してFFTにより周波数分布を求め、0~10Hzにおける加速度成分を約0.1Hz間隔で計算する。各周波数成分は色によってその強度を示す。この処理を0.64秒ずらして次の10.24秒分のデータについて順次行って、500秒分のデ

ータを解析した。縦方向の帯状に見える白い部分は、駅に停車中の時間である。走行時のデータは黄色から赤に見える部分である。1~2Hzの範囲では、特に振動の大きいことを示す赤から紫の部分が時刻によって変動していることが確認できる。他の路線についても同様にFFTによる周波数分布の時間変化が確認された。

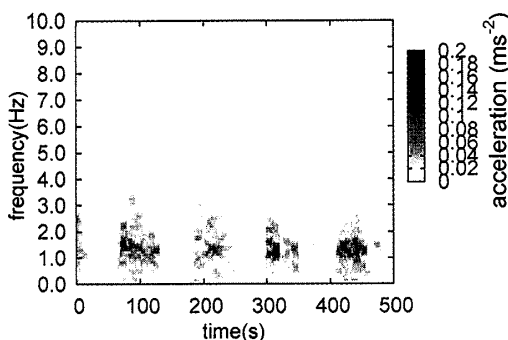


Fig. 14 Time Dependency of Frequency Distribution in the line 'B'

そこで、同様の方法で周波数分布を求め、0.5~2.5Hzの間で最大値をとる周波数を抽出した。このとき周波数分解能は約0.1Hzである。ただし停車時と判断できる時間帯のデータは除去した。図15左側の図は各路線の最大値をとる周波数の時間変化を、右側の図はどの周波数が最大となるかの正規化した頻度（占有時間の割合）を示している。図15左側のグラフより周波数分布は一定ではなく、最大成分は時間的に変化していることが分かる。図中の $\mu$ は平均値、 $V$ は分散を示している。全体的な傾向として、RPIの高い路線では最大値をとる周波数の分布範囲が小さく（分散：小）、山型のヒストグラムとなっている。一方、RPIの低い路線では周波数の分布範囲は広く（分散：大）、山が崩れた形になっていることがわかった。

この周波数分布の変化については $1/f$ ゆらぎとの相関があるかとも考えられたが、本研究で測定を行った電車内の振動加速度は図4、図5などからも伺えるように、 $1/f$ の関係にあるとは言いがたい。実際に各周波数帯域を部分的に取り出し、パワースペクトラム密度変化についての解析も行ったが、 $1/f$ ゆらぎと思われる周波数変化を見出すことは出来なかった。

**2-6 眠りやすい振動の条件と振動モデル** これまでに述べた結果から、次のような条件を満たす振動が眠りやすい振動であると考えられる。

- 1~2Hzの周波数成分を多く含み、10~20Hzの成分はあまり含まない
- 大きな躍度がほとんど現れない

- 1~2Hzの範囲内で最大値をとる周波数が時刻によって変化する

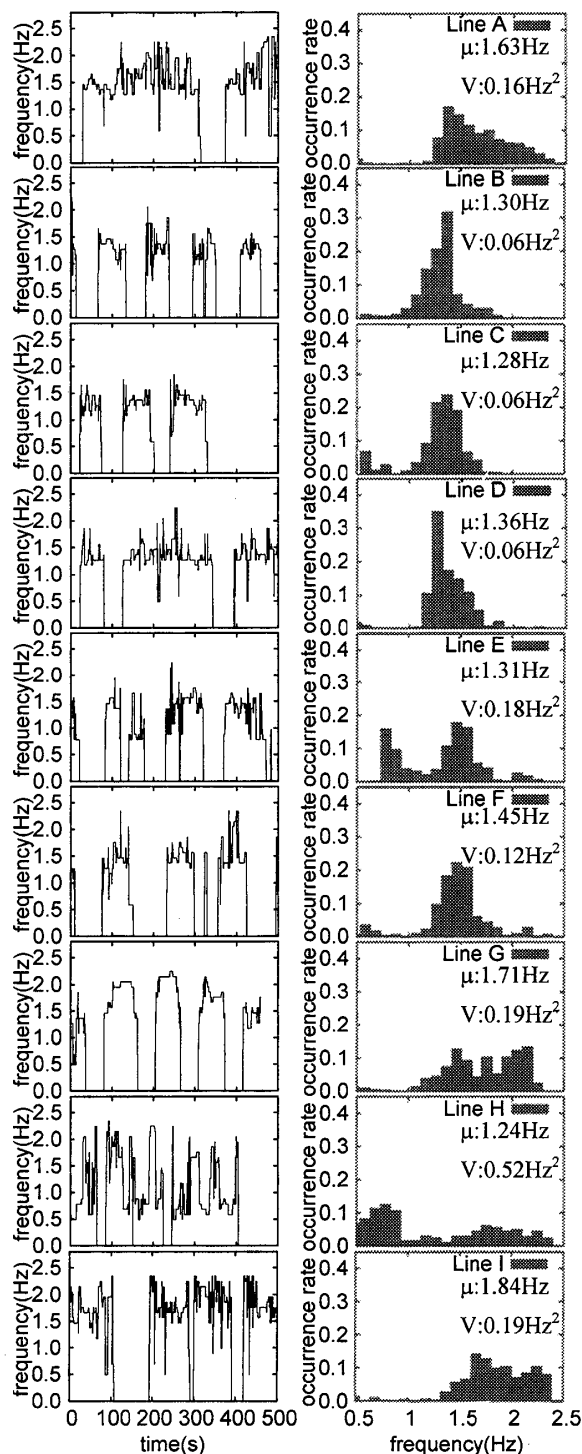


Fig. 15 Peak Frequency Transition and Occurrence Rate of Peak Frequency

次にこれらの条件を満たす簡単な振動モデルを作成した。モデルでは躍度や駅間距離と言った要素を排除して考え、RPIの高い路線Bの周波数分

布を参考にした。振幅一定のサイン波を周波数 1.2 ~ 1.6Hz の間で 0.1Hz ずつ段階的に 5 段階変化させ、加速度の値が連続になるようにする。5 つの周波数持続時間は、主に路線 B の周波数分布を参考にして周波数の低い方から順に 3:4:6:4:3 という比率に設定した。周期 T は平均的な列車の一駅分の走行時間から 100 秒とした。作成した波形は図 16 のようになる。図 15 左側のグラフのように、実際の電車の振動はこれほど様な変化ではないが、周波数が一定な振動よりは高い誘眠効果が期待できると考えられる。

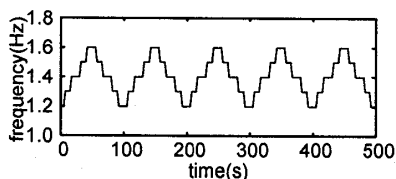


Fig. 16 Proposal Sleep Inducing Vibration Pattern

躍度に関しては加振装置に依存する部分が大いだが、周波数を変化させる際などに急激に加速度が変化しないような制御を行えば良いと考えられる。

### 3 結論と今後の課題

本研究では 9 路線の走行中の電車において、ある決まった時間帯 (14:00~16:00) において振動測定を行った。また、同時に乗客の何割が眠っているかという睡眠率の測定も行った。睡眠率と振動との関係を調べたところ、1~2Hz の周波数成分を多く含み、大きな躍度が表れず、もっとも頻度が大きい 1~2Hz の周波数を中心に時刻によって最大頻度となる周波数が若干変化する振動が眠りやすいという結果が得られた。また、10Hz~20Hz の振動は眠りを妨げるといった傾向も見られた。今後は実機による人体の加振を行い、睡眠への寄与がどの程度あるのかを実際に確認する予定である。

今回の測定は主に人体の平衡感覚と振動との相関を調べたと考えられるので、当然ながら眠りの誘導の生理学的なメカニズムが全て解明された訳ではない。吉田らの研究<sup>(17)</sup>のように、振動と心拍や血圧との関係と言った生理学的なアプローチは重要である。たとえば皮膚から伝わる振動や音の影響と眠りとの関係の調査などは今後の課題である。このような調査を行った場合、今回の結果とは逆に 2Hz 以上の高周波成分が眠りに寄与する可能性も十分に考えられる。

機械的環境が眠りを誘導する事についての生理学的な関係はまだ不明な点が多く、今後も多角的な視点から調査を行っていく予定である。

### 文 献

- (1) Cabinet Office of Japan, white paper on the National lifestyle 2005, (2005), pp.42-43, (in Japanese).
- (2) I. Yamanouchi, child rearing -advice of pediatrician-, Iwanami shoten Publishers, (1989), pp.49-50, (in Japanese).
- (3) S. Torii ed., Sleep Environment, (1999), pp.29-32, Asakura Publishing Co.Ltd, (in Japanese).
- (4) K. Yamazaki, The Effect of Whole-body Vibration on Sleep, Journal of Noise Control, Vol.6, No.3, (1982), pp.21-26, (in Japanese).
- (5) ISO2631-1, Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 1: General requirements, (1997).
- (6) ISO10326-2, Mechanical vibration -- Laboratory method for evaluating vehicle seat vibration -- Part 2: Application to railway vehicles, (2001).
- (7) T. Musha, S. Sata and M. Yamamoto, Noise in Physical Systems and 1/f Fluctuation, (1980), pp.106-112, Kodansha Ltd, (in Japanese).
- (8) M. Kitado, K. Araki, T. Takahashi, H. Inabe and T. Yanase, Effect of whole body vibration applied with low level of acceleration on sleep onset-Whole body vibration which utilizes the characteristic frequencies of vibration of electric trains and 1/f fluctuation pattern-, The Japanese Journal of Ergonomics, vol.35, No.4, (1999), pp.229-239, (in Japanese).
- (9) T. Kawashima, Study for Comfortable Swinging : Comfortable Swinging for Active Rocking Chair, Transactions of the JSME. C, Vol.69, No.677, (2003), pp. 219-226.
- (10) Shindo Kogaku Handbook Hensyu Iinkai ed., Vibration Handbook, (1976), pp.1141-1146, Yokendo Ltd, (in Japanese).
- (11) Rechtschaffen A., Kales A., A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects, (1968), Washington, DC: Public Health Service, U.S. Government Printing Office.
- (12) M. Endo, H. Kimura, M. Koseki and N. Inou, Sleep-inducing factors in mechanical environment, Proc. of joint symposium on sports engineering and human dynamics (No.05-16), (2005), pp.141-146, (in Japanese).
- (13) S.Namba, S. Kuwano and T. Okamoto, Sleep disturbance caused by meaningful sounds and the effect of background noise, Journal of Sound of Vibration 277, (2004), pp.445-452.
- (14) A.Komatsu, Sound, Music, Vibration and Sleep -An Examination into the Sleep Inducing Effects of Information Carrying Body Sonic Vibrations-, Journal of Sleep and Environments, Vol.3, No.1, (1995), pp.108-116, (in Japanese).
- (15) N. Ma, F. Wang, K. Sagawa and H. Inooka, A Real-time Estimation System for the Evaluation of Riding Comfort, Proc. of the 13th Bioengineering Conference, (2001), pp.254-255, (in Japanese).
- (16) H. Yoshida, N. Machida, Studies on the Effects of Low Frequency Vibration to the Human Body-Physiological Effects of Low Frequency Horizontal Vibration-, Congress of the International Ergonomics Association Proc. of the 10th IEA, (1988), pp.369-371.
- (17) H. Suzuki, Human Scientific Study on Riding Comfort Evaluation of Railway Vehicles, RTRI Report, No.24, (1998), pp46-49, (in Japanese)