

# 通勤ストレスの定量化手法に関する研究

本研究は、公共交通機関を利用した通勤が労働者に与える肉体的・精神的な移動負荷（以下、「通勤ストレス」）を定量的に計測する手法について検討を行ったものである。具体的には、生体の自律神経の活動状態を示す指標である心拍変動データを活用し、①一定時間/区間の乗車によって生体が被る通勤ストレスの平均的な強度、②一定時間/区間の乗車を通じて被る通勤ストレスの総量、をそれぞれ定量的に計測する手法を提示し、その有用性を確認した。また、首都圏の主要な通勤路線を対象として上記指標を用いた分析を実施し、急行乗車と各停乗車の各々の場合について、通勤ストレスの負荷レベルや時間的推移の相違に関する基礎的な考察を行った。

キーワード 通勤ストレス、心拍変動解析、公共交通システム

鹿島 茂

KASHIMA, Shigeru

工博 中央大学理工学部土木工学科教授

武田 超

TAKEDA, Wataru

SMBCコンサルティング株式会社 上席推進役

## 1——研究の背景と目的

わが国では、少子・高齢化の進展にともない、労働力人口が逡減していくことが予想されている。このようななか、日本が持続的な経済成長を遂げていくために、新技術の発明や新たなサービスの展開など、いわゆる「イノベーション」を促進してTFP（全要素生産性）を高めるとともに、退職年齢の引上げや女性の就業率向上により労働力人口の減少をカバーする取組みが不可欠との認識が高まっている。

一方、都市部において近距離の旅客輸送を担う公共交通システムは、主に「コスト」と「時間」という2つの変数の極小化を主眼とした整備が進められ、低コスト、且つ高速度の通勤手段として労働や資本のインプットの増大に寄与することにより、戦後の経済成長を支えてきたものと考えられる。しかしながら、既述のように国レベルの経済成長モデルが軌道修正される可能性に鑑みれば、公共交通機関においても、社会的・経済的環境の変化を踏まえた新たな視点から機能改善の可能性を追求していく必要がある。とりわけ通勤旅客に占める高齢者や女性の比率が上昇していく可能性を勘案すれば、今後は、通勤プロセスが労働者に与える肉体的・精神的な移動負荷（以下、「通勤ストレス」）という視点を公共交通機関の整備における新たな変数として考慮し、その極小化を図ることが重要なテーマになると考えられる。

もっとも、日々の通勤において利用者が受ける通勤ストレスの実態については、アンケート調査などの意識調査によって主観的・定性的に捕捉される場合が一般的で、客観的・定量的な計測手法は確立されていない。従って、特定の公共交通機関が個々の労働者に与える通勤

ストレスを軽減することを主眼とした具体的施策の策定や優先順位付け、さらには実施した施策について客観的な事後検証を行うことは困難であるのが実情である。

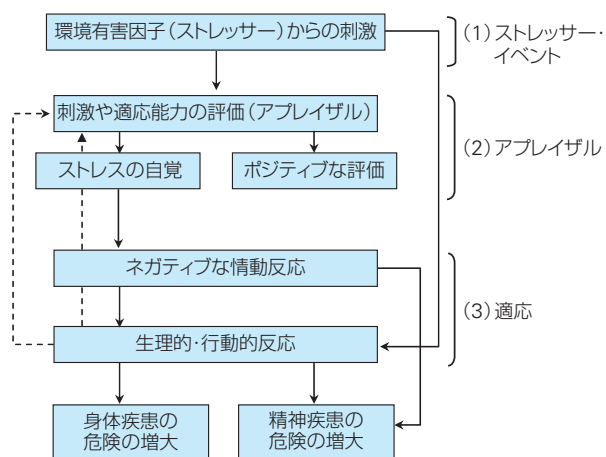
以上の認識から、本研究では、都市圏において通勤旅客に係る輸送分担率の大きい電車による通勤をモデルケースとして採り上げ、公共交通機関が考慮すべき「新たな変数」として、特定の公共交通機関を利用した通勤によって生体が被る通勤ストレスについて、①一定時間/区間の乗車によって被る様々な環境有害因子（以下、「有害ストレス」）による通勤ストレスの平均的な強度、②一定時間/区間の乗車を通じて被る通勤ストレスの総量、をそれぞれ定量的に計測する手法を提示し、その有効性について検証を行う。

## 2——通勤ストレスの定量的計測手法

### 2.1 ストレス定量化のアプローチ

過去のストレス研究を通じて、ストレスによる刺激に対する生体の適応プロセスには幾つかの段階があることが判明している。Cohen et.al (1995)<sup>1)</sup>は、これらの異なるプロセスを総合的に勘案して、図—1に示すようなストレスに対する適応プロセスの統合的モデルを提示している。すなわち、生体がストレスからの刺激（図—1の「(1) スレッサー・イベント」）を受けると、大脳中枢において刺激の大きさや自らの適応能力について自己評価（同「(2) アプレイザル」）を実施。アプレイザルにおいてスレッサーによる刺激が有害と判断された場合、生体内においてスレッサー・イベントに適応するための仕組み（同「(3) 適応」）が働き、ネガティブな情動反応、さらには様々

な生理的・行動的反応を示していくほか、当該過程から前段階へのフィードバックが存在する、とされている。



出所：Cohen et al (1995)<sup>1)</sup>, p14. 筆者による加筆

■図—1 ストレスへの適応プロセスの概念図

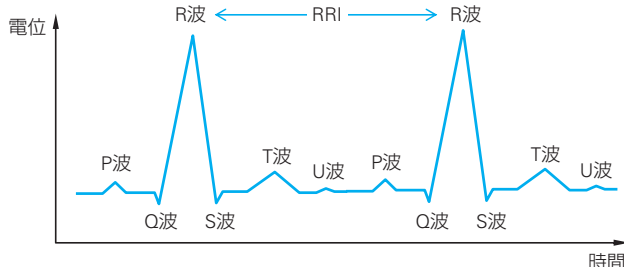
一方、ストレスの大きさを計測する手法について、前述の統合モデルに基づき整理すると、①様々なストレスへの暴露、すなわち図—1における「ストレス・イベント」に焦点を当てる「環境アプローチ」、②ストレスからの刺激を主観的に評価する「アプレイザル」過程に焦点を当てる「心理学的アプローチ」、③ストレスによる肉体的・精神的刺激に対する生理システムの活性、いわゆる「適応」段階に焦点を当てる「生物学的アプローチ」、という3種類が存在する<sup>1)</sup>。

通勤ストレスの定量的計測手法の提示を目的とする本研究では、これらのうち、最も客観性の高いデータである「生体情報」の活用を主眼を置いた「生物学的アプローチ」を採用する。

## 2.2 通勤ストレスの定量的指標化

ストレス計測における生物学的アプローチに関して、既往研究では様々な生体情報の活用が試みられている<sup>注1)</sup>。本研究では、これらのうち、ストレスの作用を受けた自律神経における交感神経系の活性度合いを測定する手法として医学的研究においても広く活用されており、計測装置の小型化・可搬化により通勤環境においても非侵襲的に計測することが可能となりつつある体表面心電図におけるR波とR波の間隔(RRI)データの変動を解析する手法<sup>注2)</sup>を採用(図—2)。一定時間/区間の乗車によって被る様々な有害ストレスによる負荷の平均的な強度を示す指標として、生体において、有害ストレスへの適応の一形態である交感神経系の活性レベルを示す指標として研究への応用事例が存在する①RRIの中央値(RRI(M))、②RRIの変動スペクトルにおけるLF帯域(0.04Hz～0.15Hz)とHF帯域(0.15Hz～0.40Hz)の各成

分パワーの比率の算術平均値(以下、LF/HF(A))<sup>注3)</sup>、という2種類の指標を選定した。そのうえで、既往研究や車内の快適性に関する研究において潜在的なストレスとして採り上げられることの多い「混雑」<sup>注4)</sup>という環境要因に着目した検証実験を行うことにより、通勤ストレスの定量化という趣旨に照らしつつ、各々の指標の有効性や特性について検証した(表—1)。

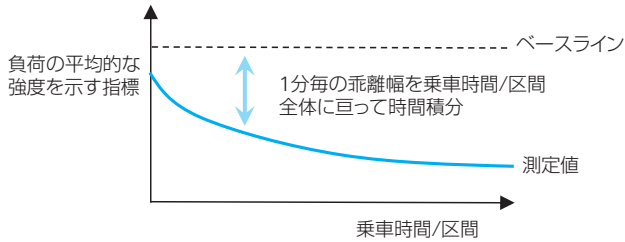


■図—2 体表面心電図におけるRRI計測の概念図

■表—1 通勤ストレスに係る3種類の定量的指標

指標の略号	概要	解釈方法	特性
①RRI(M)	有害ストレスによる負荷の平均的な強度を示す。	「数値が減少/小さい」=「負荷が増加/大きい」	計測時のトラブル等に起因するエラー値の影響に左右され難い指標であり、指標の算出も比較的容易。
②LF/HF(A)		「数値が増加/大きい」=「負荷が増加/大きい」	分析手法や条件設定により値が変動、分析手法によっては使用するRRIのデータ数に制約が生じる場合等もあり、指標の算出が比較的困難。
③TSV	一定時間/区間の乗車によって被る通勤ストレスの総量を示す。	「数値が大」=「負荷が大」	負荷の平均的な強度を示す指標の選択や、ベースラインの設定により値が変化するものの、指標の算出は比較的容易。

一方、既往研究では、生体が多種多様なストレスに対して非特異的に同様の適応反応を示す特性を持つことから<sup>3)</sup>、前掲図—1の適応プロセスにおいて、特徴や強度が異なる様々なストレスによる負荷の総量(蓄積)に比例して、生体の被るストレスが増加するものと考えられている<sup>注5)</sup>。従って、通勤ストレスの研究においても、ストレスの強度を示す上述の指標に加えて、通勤過程を通じて生体が被るストレスの総量を示す指標を活用することが不可欠となる。そこで、本研究では、低周波振動への曝露量と乗り物酔い発生との相関関係を示すISOの評価指標であるMSDV(Motion Sickness Dose Value)<sup>4)</sup>の考え方を応用し、③一定時間/区間の乗車を通じて被る通勤ストレスの総量を示す指標として、通勤ストレスの平均的な強度を示す指標について、負荷のない状態の指標(ベースライン)との乖離幅を乗車時間/区間全体に亘って累積した値(以下、TSV(Total Stress Value))を指標として活用することとし、既述の検証実験を通じて同指標の応用可能性について検討した(前掲表—1及び図—3)。



■図—3 TSV算出の考え方

### 3——指標の有効性に係る検証

#### 3.1 検証実験の方法

朝の通勤ラッシュの時間帯において、被験者に、首都圏において近郊の住宅地と都心部を結ぶ主要な通勤路線の一つであり、急行と各停との間で混雑率が大きく異なる<sup>注6)</sup>という特徴を持つ田園都市線(溝の口→大手町の区間)に乗りしてもらい、ホルター心電計(A&D社製携帯型自動血圧心拍計TM-2425)を用いて体表面心電図を記録(表—2)。心電計付属の解析ソフトにより125HzのサンプリングレートでRRIデータに変換し、前掲表—1に提示した通勤ストレスに係る3種類の指標を算出のうえ、各々の指標と乗車時の環境の違いや時間的経過との論理的整合性を検証した。

■表—2 実験条件

項目	内容	
被験者	男子学生A(1名)	
車両条件	朝の通勤時間帯に各停または急行に乗車 <sup>注1)</sup>	
実験条件	前から3両目の後部側優先席付近に乗車(立位)	
実験時期	05/03/14~05/04/01の平日(N=13) [急行乗車]{03/14, 16, 18, 22, 25, 28, 29, 30, 04/01} [各停乗車]{03/15, 17, 23, 31}	
対象路線(区間)	田園都市線(溝の口→大手町)	
区間の詳細	急行	急行
溝の口~高津	区間1	区間1
高津~二子新地		区間2
二子新地~二子玉川		区間3
二子玉川~用賀	区間2	区間4
用賀~桜新町		区間5
桜新町~駒沢大学		区間6
駒沢大学~三軒茶屋		区間7
三軒茶屋~池尻大橋	区間3 <sup>注2)</sup>	区間8
池尻大橋~渋谷		区間9 <sup>注2)</sup>
渋谷~表参道	区間4	区間10
表参道~青山一丁目	区間5	区間11
青山一丁目~永田町	区間6	区間12
永田町~半蔵門	区間7	区間13
半蔵門~九段下	区間8	区間14
九段下~神保町	区間9	区間15
神保町~大手町	区間10	区間16

注1：当該路線の最混雑区間である「池尻大橋→渋谷」の区間を通勤ラッシュの時間帯に通過する列車のうち、急行については7:41溝口発「清澄白河」行を、各停については7:38発「押上」行を対象とした。

注2：網掛け部分は東急電鉄発表資料による最混雑区間を示す。

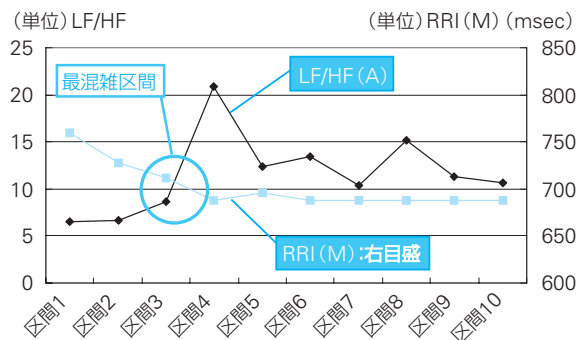
なお、LF/HF(A)の算出において用いるRRIの変動スペクトル解析の手法については、データ数に係る制約が

なく短いサンプルでもスペクトル解析が可能、スペクトル分解能が高い等、高速フーリエ変換などの他の手法と比較して有利な特徴を有する<sup>5)</sup>とされる「最大エントロピー法」による解析方法を採用した<sup>注7)</sup>。

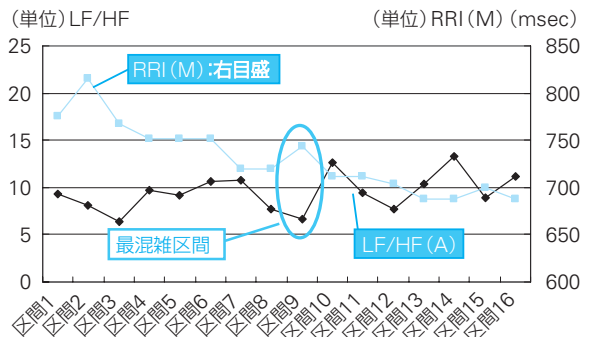
#### 3.2 検証結果

##### 3.2.1 通勤ストレスの平均的な強度に係る指標

図—4~図—5は、各々、各停及び急行乗車時に計測されたRRIに基づいて算出した、乗車区間毎のRRI(M)(RRIの中央値)及びLF/HF(A)(LF/HFの算術平均値)の推移を示したものである<sup>注8)</sup>。なお、区間毎のRRI(M)及びLF/HF(A)の算出に当たっては、全測定日(N=13)において、対象区間において計測されたプールドデータを用いた。



■図—4 RRI(M)とLF/HF(A)の推移(急行乗車)



■図—5 RRI(M)とLF/HF(A)の推移(各停乗車)

乗車区間毎のRRI(M)の推移をみると、各停よりも混雑率が大きい急行乗車の場合(図—4)、RRI(M)のレベルは区間1の760msecから列車の進行(時間の経過)とともに減少(=ストレスが上昇)する傾向を示し、区間4以降は690msec近傍の変動に収束した。一方、混雑率が相対的に小さい各停乗車の場合(図—5)、急行の区間1に相当する乗車直後の区間1~3におけるRRI(M)は768~816msecと、急行のケース(760msec)と比較してやや高いレベルに位置しており、列車が進行するとともに値が緩やかに減少していくものの、最混雑区間である区間9(急行の区間3)の時点でも、急行のケース(712msec)より32msec高いレベル(744msec)に位置している<sup>注9)</sup>。

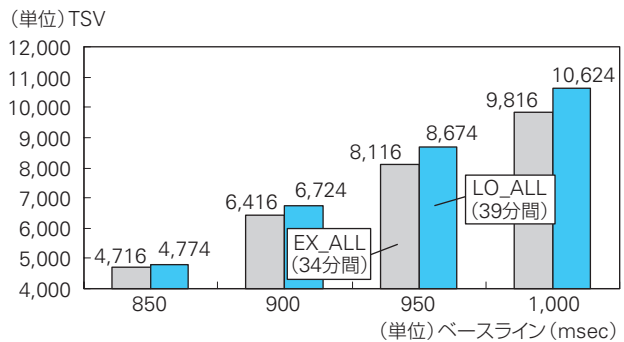
一方、LF/HF (A)についても、急行乗車の場合、各停乗車の場合ともに列車の進行とともに趨勢的に増加(=ストレスが上昇)する傾向が捉えられ、最混雑区間近辺でストレスの著しい増加を示す動きがみられるなど、RRI (M)と比較すると区間毎の指標の変動幅が相対的に大きい指標であることが判明した。このように、LF/HF (A)の値が大きく変動する要因については、ストレスの負荷変動に対する感応度が高いことから、区間毎の混雑率の微細な変化に反応している可能性に加えて、混雑以外の他のストレスによる作用も検出している可能性が考えられる。

以上の検証実験により、実験の対象区間において、RRI (M)及びLF/HF (A)は、いずれもストレスの多寡や持続時間とストレスの大きさとの相関関係に関する既往研究の結果と整合的な動きを示すことが確認された。この結果から、通勤ストレスの平均的な強度に係る2つの指標は、個々または複数の通勤ストレスへの曝露によって生体が被る負荷の大きさを時系列に分析する場合等において、有効に機能する指標であるものと判断される。とりわけLF/HF (A)については、計測値の変動が大きい点について更なる検討が必要であるものの、その感応度の高さを応用すれば、特定のイベントの発生による影響の分析や、個々または複数のストレスによる負荷の短時間における変化による影響を分析する場合などに有用な指標であることが示唆された。

### 3.2.2 通勤ストレスの総量を示す指標

TSV (Total Stress Value)を算出するに当たり、有害ストレスによる負荷の平均的な強度を示す指標を選択する必要があるが、これについては、前述の検証において計測値が相対的に安定していたことを勘案し、RRI (M)を用いることとした。一方、ベースラインの値については、本実験において安静時の心拍数(HR)に関する厳密な定義付け<sup>注10)</sup>に沿ったRRIの測定を行っていなかったため、通学前の自宅でRRIの計測を開始した直後のレベルが概ね800msec台の後半であったことを踏まえ、850msec～1,000msecの水準において50msec刻みで計4種類の暫定的なベースライン(以下、RRI (B))を設定。急行乗車及び各停乗車の場合について、それぞれ全計測日のデータ(“EX\_ALL”=急行乗車のケース(34分間)、“LO\_ALL”=各停乗車のケース(39分間))を元に、乗車後1分毎のRRIの中央値(RRI (M))を算出。RRI (B)との差額を積み上げることにより、対象区間/時間全体の乗車を通じたTSVを各々算出した(図-6、表-3)。

その結果、ベースラインの設定値によって各々のTSVの乖離レベルは異なるものの、急行乗車の場合(図-6及び表-3の“EX\_ALL”)の方が各停乗車の場合(同“LO\_ALL”)



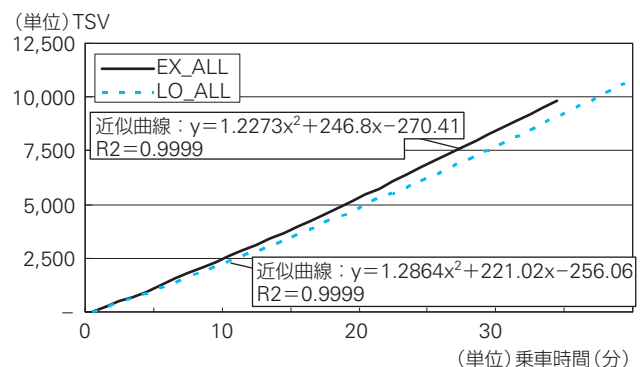
■図-6 ストレス総量(TSV)の比較

■表-3 RRI (B)の設定値毎のストレス総量(TSV)の乖離レベル

RRI (B) (msec)	TSV		乖離 (②-①)	乖離レベル	
	EX_ALL (①)	LO_ALL (②)		乖離/①	乖離/②
850	4,716	4,774	58	1.2%	1.2%
900	6,416	6,724	308	4.8%	4.6%
950	8,116	8,674	558	6.9%	6.4%
1,000	9,816	10,624	808	8.2%	7.6%

より相対的に小さい値となり、今回の検証対象区間を利用した通学において急行乗車を選好する被験者の日常の選択行動の合理性を支持する結果となった。

一方、急行乗車の場合と各停乗車の場合について、乗車時間とTSVの相関関係を検証するため、RRI (B)を1,000msecに設定のうえ乗車後1分毎のTSVの推移をプロットし、各々について近似曲線を求めたところ図-7の通りとなった。すなわち、今回の実験区間において、急行乗車の場合、各停乗車の場合ともに、TSVは乗車時間の増加に伴って指数的な上昇カーブを描いて増加していくことが示唆された。



■図-7 TSVの推移

そこで、図-7で示した近似曲線を用いてシミュレーションを行ったところ、一般的な通勤における乗車時間と考えられる30分～60分の乗車時間では、概ね10%程度乗車時間が短縮される場合には、急行乗車の方が通勤に伴うTSVが小さくなる。換言すれば、乗車時間の短縮率が10%に満たない場合には、各停に乗り合わせた方が、乗車時間は長くなるものの、ストレス総量を抑えられる可能性があることが示唆された。

以上の通り、RRI (M)をベースとしたストレス総量の指標 (TSV)は、一定時間/区間の乗車を通じた通勤ストレスの総量を示す指標として、各種研究に応用することが可能な指標であることを確認した。とりわけ、図-7において求められた近似曲線のように、ストレス総量の指標と乗車時間との相関関係を数式化できる特性を活用すれば、ストレスの小さい移動手段やルートを合理的に選択する意思決定モデルへの適用等、より実用的な応用が可能と考えられる。

#### 4— ストレス指標に基づく主要通勤路線の特徴分析

前章において、通勤ストレスに係る3種類の指標が一定の条件の元に有効に機能する可能性が確認されたことを踏まえ、これらの指標を用いて、前章の検証実験を行った田園都市線の特徴分析を行った。観測データは、前章において指標の有効性の検証において用いたデータ(前掲表-2を参照)を活用。対象路線の特徴分析については、混雑率(表-4)が大きく異なる急行乗車、各停乗車の各ケースについて、停車駅間(以下、区間)及び単位時間毎のストレスの発現状況を比較・分析することによって実施した。

■表-4 区間別混雑率の推計値

	最混雑区間までの区間	最混雑区間	半蔵門線の区間
区間の特徴	混雑率が序々に上昇	混雑のピーク	渋谷駅で混雑が緩和(その後は序々に解消)
推定混雑率			
急行	200%程度 (区間1~2)	200~250% (区間3)	150~180% (区間4~10)
各停	150~180% (区間1~8)	180~200% (区間9)	150~180% (区間10~16)

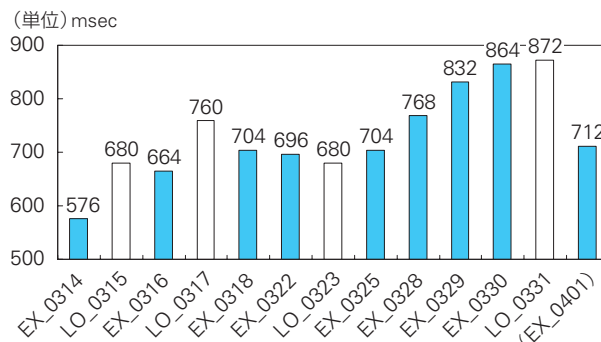
資料：東急電鉄資料、被験者へのヒアリング等に基づき著者推定

なお、以下の分析では、一定時間/区間における通勤ストレスの平均的な強度を示す指標として提示した2つの指標のうち、突発的な環境要因の変化による影響を相対的に受け難いRRI (M)を指標として用いた。また、K-S検定によりRRIデータに係る正規性仮説が棄却されたことから、RRI (M)に係る統計的検証においては、特定の分布を仮定しないWilcoxonの順位和検定(有意性の判定基準： $p < 0.01$ )により実施した。

#### 4.1 観測データの特徴

乗車区間全体のRRI (M)を測定日毎に算出したところ、実験の前半においては急行に乗車した場合の方が相対的に小さく、各停に乗車した場合よりも、有害ストレスによる負荷が大きい結果となった(図-8)。一方、実験の後半、特に3月の後半に向けて測定を積み重ねる毎に

RRI (M)が延長する傾向を示現し、急行に乗車した場合と各停に乗車した場合について、RRI (M)のレベルの差異が不鮮明となっている。この結果、1分毎のRRI (M)のプールドデータについては、急行乗車の場合と各停乗車の場合について有意な差が認められたものの( $p < 0.01$ )、乗車区間全体のデータを対象に求めたRRI (M)においては、有意な差が確認できなかった( $p = 0.465$ )。



■図-8 乗車区間全体のRR (M)の推移

今回の実験では、実験条件を厳密に設定せずに被験者の日常の通学において実験を行ったため、急行乗車の回数と各停乗車の回数が一致しておらず、とりわけ後半は急行への乗車回数が増加している。このようなデータの制約から明確な判断を下すことは困難であるものの、被験者によれば「3月の中旬から期末にかけて明らかに混雑が緩和された」ということであり、学生の休暇入りを受けた乗車人数の減少にともない、急行、各停ともにストレスの負荷が全般的に弱まった可能性が考えられる注11)。

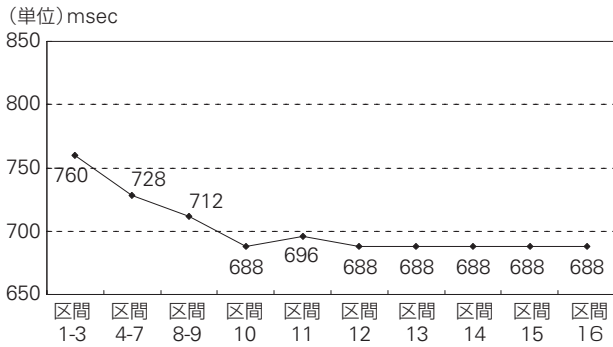
もっとも、以下の分析においては、可能な限り恣意性を排除するため、特定の測定日データを除外する等の操作は行わず、全ての観測データを用いた分析を行っている。

#### 4.2 一定区間(時間)毎のRRI (M)の推移

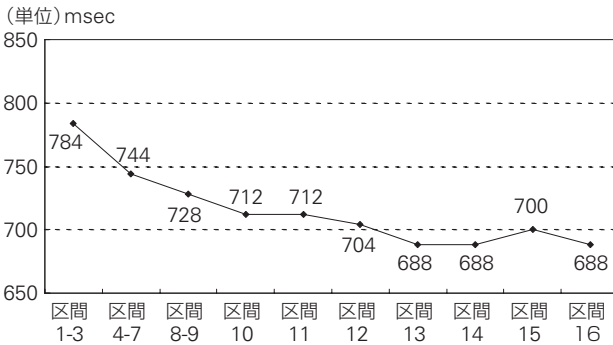
##### 4.2.1 駅間毎のRRI (M)の推移

全ての測定日における計測値のプールドデータについて駅間毎のRRI (M)を算出したところ、急行乗車の場合、乗車直後から区間10(各停の区間名に統一。以下、同じ)にかけてRRI (M)が短縮した後、RRI (M)は690msec近傍の変動に収束した(図-9)。一方、急行の区間に合わせてRRI (M)を求めたところ、各停乗車の場合、RRI (M)のレベルは相対的に緩やかに減少する傾向を示現し、急行よりも3区間遅れて、区間13以降690近傍の変動に収束する結果となった(図-10)。

このように、急行乗車の場合と各停乗車の場合を比較すると、生体に与える負荷レベルの推移において大きな違いが存在することが判明した。また、今回の被験者の



■図-9 乗車区間毎のRRI (M)の推移(急行乗車)



■図-10 乗車区間毎のRRI (M)の推移(各停乗車)

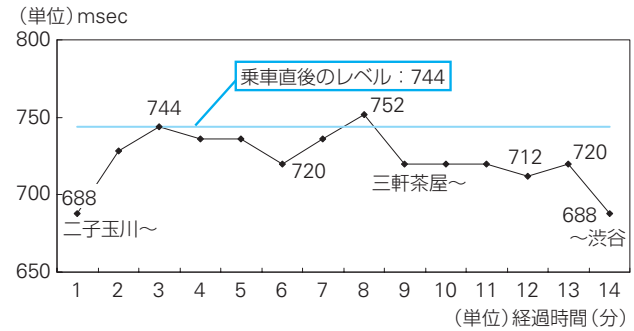
場合は、いずれも688msecというレベルがRRI (M)に係るボトムラインとなっており、急行乗車の場合、最混雑区間直後の区間10において688msecを記録した後は、混雑の解消(前掲表-4を参照)にも拘わらずRRI (M)が回復していない。このような結果から、この被験者の通勤ストレスの多寡には混雑という変数が関与している可能性が大きいものの、混雑が緩和した場合でも、乗車を続ける限り、必ずしもストレスに対する「適応」の状態から即座に開放されない可能性が示唆された。

#### 4.2.2 単位時間毎のストレスの強度の推移

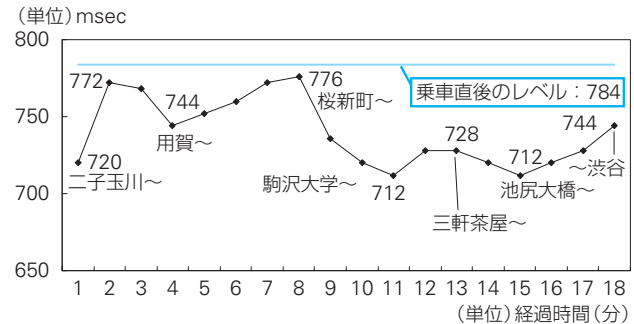
次に、通勤ストレスの強度の違いについて更に詳細に分析するため、急行乗車の場合と各停乗車の場合について、1分毎のRRI (M)の推移について比較した。ただし、走行環境の変化が激しい実験路線の特徴<sup>注12)</sup>を踏まえ、1分毎のRRI (M)の推移の比較は、急行、各停ともに混雑以外の要因は大きく変化しないと考えられる「二子玉川～渋谷」の区間を対象とした。

急行乗車の場合(図-11)、二子玉川においてRRI (M)が688msecのレベルまで低下した後、一旦、溝の口の乗車直前のレベル(744msec)に上昇。その後、最混雑区間である三軒茶屋～渋谷の区間においてRRI (M)のレベルは徐々に低下し、渋谷において再び688msecのボトムを付ける結果となった。一方、各停乗車の場合(図-12)も、二子玉川の時点では乗車直前のレベルから低下(784→720msec)しているものの、直後に700msec台後半のレ

ベルにまで回復。桜新町を出発後は、池尻大橋にかけて急行乗車の場合とほぼ同じ710～720msecのレベルにまで低下した後、渋谷にかけて上昇に転じた。



■図-11 単位時間毎のRRI (M)の推移(急行乗車)



■図-12 単位時間毎のRRI (M)の推移(各停乗車)

このように、通勤ストレスの平均的な強度の推移を比較した場合、急行乗車の場合には乗車直後から一定レベルの負荷が持続するものの変動幅は相対的に小さい一方、各停乗車の場合、桜新町までの区間は負荷のレベルが相対的に小さいものの、その後は池尻大橋にかけて大きく上昇するなど変動が大きいことが判明した。この点については、急行、各停の別を問わず、駅での停車回数や列車の加速度の変化などがストレスの平均的な強度の変動に関与している可能性が推測される。

## 5—結論

本研究では、特定の公共交通機関を利用した通勤が労働者に与える肉体的・精神的な移動負荷、所謂「通勤ストレス」の問題について、ストレス研究における生物学的アプローチの一つである体表面心電図におけるR波とR波の間隔(RRI)データの変動を解析する方法によって定量的に計測する手法を提示。本研究において提示した①一定時間/区間の乗車によって生体が被る通勤ストレスの平均的な強度、②一定時間/区間の乗車を通じて被る通勤ストレスの総量、をそれぞれ示す3種類の指標について実験を含む検証を行い、通勤ストレスの大きな要因の一つとして指摘される「混雑」状況の違いや区間毎の変化との論理的整合性を確認することにより、各々

の指標の有用性を確認した。

また、通勤ストレスの平均的強度を示す2つの指標のうち、①RRI (M)については、電車の「混雑」など特定のストレスへの持続的な曝露による生体への影響を時系列に分析する場合に適した指標であることを、②LF/HF (A)については、個々または複数のストレスによる負荷の短時間における変化による影響を分析する場合などに有用な指標である可能性を、それぞれ確認した。一方、③通勤ストレスの総量を示す指標 (TSV)については、TSVと乗車時間との相関関係を近似曲線によって示すことによって、ストレスの少ない移動手段を合理的に選択する意思決定モデル等への応用が考えられることなどについても言及した。

後半の通勤ストレスの観点からみた田園都市線の特徴分析においては、急行乗車の場合と各停乗車の場合について、本研究が提示した指標を用いて通勤ストレスに係る強度の時系列推移について比較・検討を行い、両者の違いの要因に関する基礎的な考察を行った。

今後については、RRIの計測実験における詳細な条件設定、RRIデータと列車の走行状況を正確に同期させる仕組みの導入など、データの計測に係る精度を高める方法を検討するとともに、本研究において提示した通勤ストレスに関わる3種類の定量的指標を活用することにより、通勤時におけるストレスに係わる更なる分析を進める一方、女性専用車両の設定を含めた列車の運行形態に係る変更の有効性評価など、個別具体的な施策の評価への応用を試みる所存である。

#### 注

注1) 例えば、藤澤ほか編「新生理心理学」<sup>6)</sup>では、中枢神経系の活動を測定する際に用いられる指標として脳波や脳磁図など、抹消神経系の活動を測定する際に用いられる心電図や血圧、皮膚電位、眼球運動、筋電図など、内分泌系・免疫系の反応を測定する際に用いられる血中ホルモンなどが、それぞれ紹介されている。

注2) RRI計測の考え方は、藤澤ほか編「新生理心理学」<sup>6)</sup> pp. 158～169などが詳しい。

注3) RRIにおけるLF及びHF成分の詳細については、日本生理人類学会計測研究部会編[1996]<sup>7)</sup> pp. 416～416などが詳しい。

注4) 電車等の車内の「混雑」が通勤・通学旅客のストレスとなる要因として、既往研究では、乗車スペースに余裕が無くなると、加減速や揺れに備えて体勢を整

える、人に触れたり押されたりすることのないように、他人と一定の距離を保持することなどを含めて、乗車時の環境を自分の意思でコントロールすることが困難となるなどが挙げられている。「混雑」を含めた通勤時のストレスに関する既往研究については、Koslowsky et al [1995]<sup>2)</sup>などが詳しい。

注5) 例えば、「Social Readjustment Rating Scale」の考え方などがある。同スケールの概要はCohen et al [1995]<sup>1)</sup>などを参照のこと。

注6) 東急電鉄発表資料によれば、RRIの計測実験を行った2004年度において、当該路線の最混雑区間(「池尻大橋～渋谷」間)の朝のラッシュ時1時間の平均混雑率は191%となっている。急行と各停の混雑率の内訳等は公表されていないものの、国土交通省発表の「混雑度の目安」を参考として被験者の目視による確認をベースに判断すれば、測定実験時の当該区間における混雑率は、急行では概ね200～250%、各停のケースで180～200%程度と推測される。

注7) 解析ソフトは株式会社ジー・エム・エスのMemCalcを使用。

注8) 区間毎のRRIデータは時刻表に基づいて抽出を行っており、実際の列車の走行状況と正確に同期していない可能性がある。

注9) 後述のLF/HFを含めて、急行乗車の場合、各停乗車の場合ともに有害ストレスによる負荷の平均的な強さを示す指標が最混雑区間の次の区間において負荷の増加を示唆する変動を示している。その要因としては、実際の負荷変動がRRIに影響を及ぼすまでに一定のタイムラグが存在する可能性や、データ抽出上の問題(注8を参照)によって最混雑区間の一部データが次の区間に混入している可能性などが考えられる。

注10) 藤澤ほか編「新生理心理学」<sup>6)</sup> p. 159では、「摂氏18～20℃で食後3時間を経過した後、身体の動きの少ない楽な椅座位姿勢を30分保ち、その後の5分間の平均HR」と定義付けられている。

注11) 事実、新学期入りという特殊要因による影響を受けたと考えられる4月1日付のデータを除外して検定を行ったところ、乗車区間全体に関するRRI (M) 及び1分毎のRRI (M)ともに、急行乗車の方が各停乗車の場合より有意に値が縮小する傾向があることが判明した。

注12) ①二子玉川を出発して間もなく旧新玉川線の地下区間の走行に切り替わる構造となっており走行環境が大きく変化する、②ターミナル駅である渋谷に向けて序々に高まった混雑率が、同駅到着後に大きく低下するなど(前掲表4を参照)、渋谷駅を境に車内環境が大きく変化する事が挙げられる。

#### 参考文献

- 1) S. Cohen, R. C. Kessler & L. U. Gordon [1995], *Measuring Stress*, Oxford University Press, Inc. (シェルドン コーエン・ロナルド C. ケスラー・リン アンダーウッド ゴードン [1999], 「ストレス測定法」, 小杉正太郎監訳, 川島書店).
- 2) M. Koslowsky, A. N. Kluger & M. Reich [1995], *COMMUTING STRESS*, Plenum Publishing Corp.
- 3) H. Selye [1976], *THE STRESS OF LIFE*, Plenum Publishing Corp. (ハンス セリエ [1988], 「現代社会とストレス」, 杉靖三郎・田多井吉之介・藤井尚治・竹宮隆訳, 法政大学出版局).
- 4) ISO [1997], *ISO2631-1:1997(E) Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration*, ISO.
- 5) 田中幸雄・大友詔雄・寺地三朗 [1992], 「非線形時系列データ解析」, 北海道大学工学部研究報告, 第160号, pp. 11～23.
- 6) 藤澤清・柿木昇治・山崎勝男編 [1998], 「新生理心理学」, 北大路書房.
- 7) 日本生理人類学会計測研究部会編 [1996], 「人間科学計測ハンドブック」, 技報堂出版.

(原稿受付 2008年4月28日)

## Study on Quantitative Assessment of Commuting Stress

By Shigeru KASHIMA and Wataru TAKEDA

This paper examines ways to assess impacts of commuting by mass transportation both on physical and psychological health of workers. Two set of indicators are proposed, both of which are calculated by applying heart rate variability analysis to examine the condition of autonomous nervous system of commuters. One of the indicators assesses the magnitude of stress in a particular time or running section, while another indicator assesses the volume of overall stress accumulated during commuting. A comparative study of commuting stress for Express train and Local train running on one of major lines in the Tokyo metropolitan area is to be conducted.

Key Words : **commuting stress, heart rate variability analysis, mass transportation system**

この号の目次へ <http://www.jterc.or.jp/kenkyusyo/product/tpsr/bn/no43.html>