

移動における身体的・心理的負担に関する 交通モード間比較

中務 真里子¹・吉田 早悠里²・鈴木 温³

¹学生会員 名城大学 理工学研究科建設システム工学専攻 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501)
E-mail:163437004@c alumni.meijo-u.ac.jp

²非会員 大日コンサルタント株式会社 (〒500-8384 岐阜市藪田南3-1-21)
E-mail: yoshida-s@dainichi-consul.co.jp

³正会員 名城大学教授 理工学部社会基盤デザイン工学科 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501)
E-mail:atsuzuki@meijo-u.ac.jp

企業や大学などが集中している大都市部では、通勤通学として公共交通が多く利用されるが、長い移動距離や、公共交通の混雑度が問題となっている。公共交通の混雑度は、全国的に朝の通勤通学の時間帯で100%を大きく超過しているところが多く、改善が必要である。一方、健康のために自動車ではなく公共交通を利用することで歩行機会を増加させる動きもある。本研究では、交通モード別の移動者の身体的・心理的負担の程度を明らかにすることを目的とし、自宅から大学までの通学時の移動負担について、アンケートによる主観的評価に加え、心拍や消費カロリーによる客観的評価を行った。その結果、降車人数の多い乗り換えでは心拍変動に大きな変化が見られた。また、RRI中央値と主観的評価との相関分析は、窮屈さや不快感と心拍間隔では負の相関が認められた。

Key Words : walkability, mental burden, physical burden, physiological indices

1. はじめに

近年、高齢者の増加や自動車依存の進展により、買い物利便性の低下や交通弱者の増加、環境負荷の増加等が問題となっている。そこで、公共交通を利用して生活できる都市空間の形成が望まれている。その一方で大都市部では、通勤通学において公共交通が多く利用させるが、企業や大学が都心部に集中しているため長い移動距離や、公共交通の混雑が問題となっている。公共交通の混雑度は全国的に朝の通勤通学の時間帯で100%を大きく超過しているところが多い。名古屋市内で例を挙げると、名古屋鉄道の栄生・名鉄名古屋間で140%、JR東海の枇杷島・名古屋間で115%、名古屋市営地下鉄東山線の名古屋・伏見間で140%となっている。これは、健康で快適な都市生活を目指す上で改善が必要であると考えられる。国土交通省では「健康・医療・福祉のまちづくりの推進ガイドライン」¹⁾において5つの取組が効果的であると提案している。その1つに「公共交通の利用環境を高める」があり、公共交通間の乗り継ぎの利便性等の考慮が必要であるとしている。

そこで、本研究では自宅から大学までの通学を対象に

し、アンケートによる主観的評価に加え、心拍を対象とした生理指標と消費カロリーを用いた客観的評価を行う。それらの評価指標を用いて、交通モード別の移動者の身体的・心理的負担の程度を明らかにすることを目的とする。公共交通利用時は混雑度や乗換え時の負担も考慮する。本研究では、複数の被験者で複数回の実験を行うことにより多くのデータを取得し、状況別での比較をしていく。その際、通い慣れている各々の通学路を実験ルートとし、普段の移動に限りなく近い状態での実験にすることで、初見の道による不安や実験による、人に注目されるストレスなどをできる限り排除して、状況の変化による負担のみが心拍に現れるものとした。

2. 既存研究と本研究の位置づけ

移動の負担に関する研究では、アンケートを用いて評価した研究²⁾が多い。もしくは、身体活動量やエネルギー消費量、心拍指標を用いて客観的評価のみを行う研究^{3) 4) 5)}もある。しかし塩見ら²⁾は、身体的・心理的の両面から移動時の負担に関する交通モード間比較はされていない。また、混雑度の周囲の変化等を考慮したり、交通

機関の乗換え時の負担を定量化した研究はあまり見られない。実験ケースがパターンや人数，モードなどにおいて限定されていることも多い。そこで本研究は，アンケートによる主観的評価に加え，心拍を対象とした生理指標を用いた客観的評価によって，交通モード別や公共交通利用時の混雑の影響を考慮した移動者の身体的・心理的負担の程度を明らかにすることを目的とする。

3. 実験方法と評価方法

(1) 実験方法

第1期（2016年10月17日（月）から11月4日（金））および第2期（11月28日（月）から12月16日（金））の平日に実験を実施した。自宅から名城大学研究実験棟Ⅱ内研究室までを片道経路とした，各期それぞれ行き帰り5回ずつ・計10回行った。被験者は21～25歳の学生6人とし，被験者は移動にかかる時間や使用する交通モード，最寄り駅から自宅までの経路を事前に調査し，所要時間30分，60分，90分ごとに2名ずつ選出した。被験者6人の移動時間及び各交通モードとその時間を図-1に示す。なお，この交通モード及び所要時間は普段利用しているものであり，雨天時などは変更する可能性がある。また，図-1のグラフ内の太い黒線は乗り換えであることを示し，ここでは乗り換えにかかる時間や待ち時間などは含んでいない。さらに，通学時の消費カロリーを交通モードごとに算出し，モードごとで比較する。

今回の実験では，公共交通での移動を含むということもありカメラを装着するなどといった状況の把握ができないこと，またルートが一律なことに加え緊張等に伴う心拍の大きな変動を極力排除するため，実験中の同行は行わず，被験者に用紙をあらかじめ配布し，同伴者や時間，気づいたこと等を全て記入してもらうこととした。さらに，公共交通利用時の過ごし方や実験を行う時間帯などは基本的に限定をしないことにした。

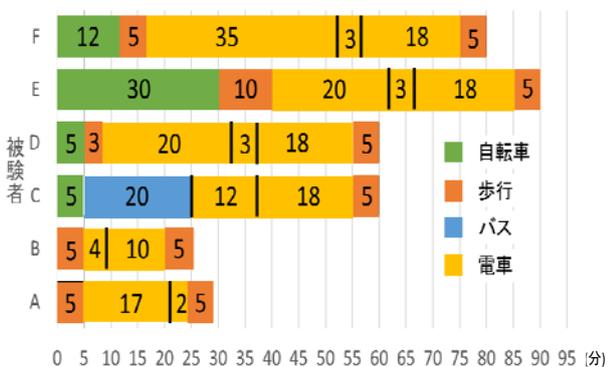


図-1 全被験者のRRI変動

(2) 評価方法

表-1に示すように，身体的負担と心理的負担についてそれぞれ指標を用いた。

表-1 負担を測る指標

	身体的負担	心理的負担
指標	心拍変動 消費カロリー 運動強度	心拍変動 主観的評価

a) 心拍データ

評価には生理指標として心拍を用いることとする。心拍データは心拍計（ユニオンツール株式会社ウェアラブル心拍センサ WHS-1）を使用し，通学の際に装着をしてもらった。心拍データの異常値について本研究では，心拍数が50bpm以下及び200bpm以上を除去することとする。この数値は成人の平均心拍数が60bpmから90bpmであること，また最大心拍数が「220-（年齢）」で表されることからこのように設定した。

身体的・心理的負担を表す指標として，心拍間隔RRIとLF/HFを用いる。RRIとは，心臓拍動毎に現れるR波とR波の間隔を示す。ストレス強度を表し，RRIの中央値が大きいと副交感神経優位でストレス度が低いと評価する。LF/HFとは，交感神経と深く関係しており，値が大きいとストレス度が高いと評価する。ここで，副交感神経とは休息時や睡眠時のリラックス度が高い状態に働く。一方，交感神経とは運動時や緊張時のストレス度が高い状態で働く。この指標は，実験により得たRRI時系列データから，フーリエ変換を用いて周波数領域解析を行い算出する。周波数領域解析は，周波数ごとにどの程度含まれているか，その強さを計算し，周波数領域のパワーを積算したものである。フーリエ変換を行うにあたり，使用するデータの時間間隔が一定でないことと計算ができないが，RRI時系列データの間隔は常に変動する。そのため，フーリエ変換を行う前に線形補間を行っている。

b) 消費カロリー

身体的負担を表す指標のひとつとして，消費カロリーを算出する。消費カロリーの推定式は，以下に示す式で表される。

$$\text{消費カロリー(kcal)} = 1.05 \times M \times T \times W \quad (1)$$

ここで，Mは身体活動強度METs，Tは時間（h），Wは体重（kg）をあらわす。なお，METsは改訂版「身体活動のメッツ（METs）表」⁶⁾に記載されている値を用いた。

METsとは運動や身体活動の強度の単位で，安静時（横になったり座って楽にしている状態）を1とした時と比較して何倍のエネルギーを消費するかで活動の強度

を示すものである。厚生労働省の「健康づくりのための運動指針2006」⁷⁾でも定義されており、歩く、軽い筋トレをする、速歩、自転車に乗る、重い荷物を運搬するなどといったように、様々な活動の強度がすでに明らかになっている。

この(1)式で算出される数字は活動を行っている時間に消費したカロリー全体、つまり安静状態の消費カロリーと活動によって増えた消費カロリーを合わせた数字である。ただし、このMETs法（(1)式）はおおよその推定値であることと、標準的な体型・体格から大きく離れた人は誤差が大きくなることに注意が必要である。また、この計算では性別や年齢は影響を与えない。

c) 運動強度

心拍数を用いて運動強度を表すカルボーネン法⁸⁾を使用する。これは、本人がどの程度「きつい」と感じるかを尺度とする自覚的運動強度を表している。酸素摂取量もしくは心拍数を用いる方法があるが、今回は心拍数を用いる方法を使用した。算出式は、

$$\text{運動強度(\%)} = \frac{(\text{心拍数} - \text{安静時心拍数})}{(\text{最大心拍数} - \text{安静時心拍数})} \times 100 \quad (2)$$

である。ここで、安静時心拍数とは、実験実行中に座っていた時の最小心拍数とし、最大心拍数は、異常値除外後の最大値とした。運動強度の目安を表-2に示す。これは、安静時心拍数を60拍/分とし、最大心拍数を200拍/分と仮定した場合の尺度である。

表-2 運動強度の目安

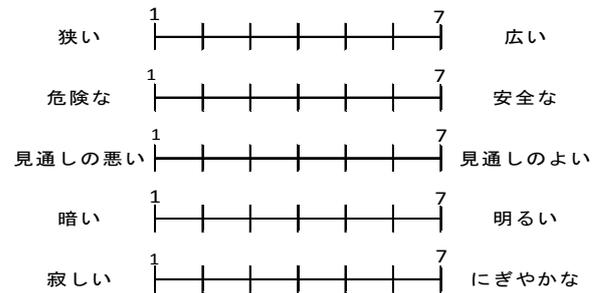
自覚度	強度(%)	心拍数(拍/分)
もうだめ	100.0	200
非常にきつい	92.9	180
かなりきつい	78.6	160
きつい	64.3	140
ややきつい	50.0	120
楽に感じる	35.7	100
かなり楽に感じる	21.4	80
非常に楽に感じる	7.1	60

d) 主観的評価と状況把握

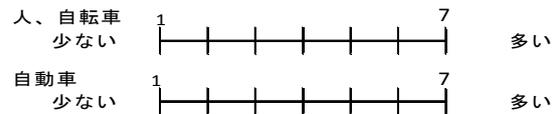
実験中は、実験開始時刻、終了時刻のほか、乗車する路線のホーム到着時刻や乗換駅到着時刻など、交通モードが変化する時刻を全て記録する。記録用紙は、公共交通利用時の状況把握及び主観項目を記入できるものと、全体所要時間や天候・気温及び歩行・自転車走行時の主観項目を記入できるものの2種類用意し、公共交通用の用紙は原則として利用時に記入してもらった。図-2に自

宅付近及び研究室付近の主観的評価項目の示す。図-3の公共交通用用紙の記入は、まず乗車時の状況（混雑度6段階はNAVITIME 電車混雑リポート参照）に答えてもらい、状況が変化したときはその時刻及び駅名とその内容を記入またはチェックしてもらい。図-3、4記入は乗車ごとに行うものとする。実験終了後、心拍計の電源を切り、歩行時・自転車走行時の主観的評価に関するアンケートに答えてもらう。歩行・自転車走行時の主観は、自宅から最寄り駅までの区間の平均と、塩釜口駅から名城大学研究実験棟内研究室までの区間の平均の2区間について記入する。各項目は反対語からなる7段階で評価してもらった。

道路空間



交通量



心理面

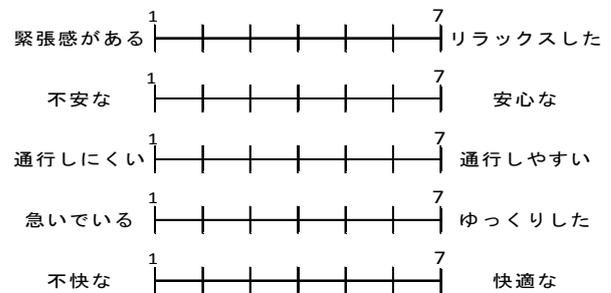


図-2 街路空間の主観的評価項目

- ・乗車中の姿勢
 - 立っている
 - 座っている
 - 途中で座る(:)
 - 途中で立つ(:)
- ・乗車中の過ごし方
 - 携帯を使う
 - 本を読む
 - 会話をする
 - 音楽を聴く
 - 寝る
 - その他()
- ・同伴者()
 - あり(人)
 - なし
- 混雑度変化(:)
 - 1. 余裕で座れる
 - 2. 席はいっぱい
 - 3. 普通に立てる
 - 4. 圧迫される
 - 5. 身動き不可
 - 6. 乗れない

図-3 公共交通利用時の状況把握

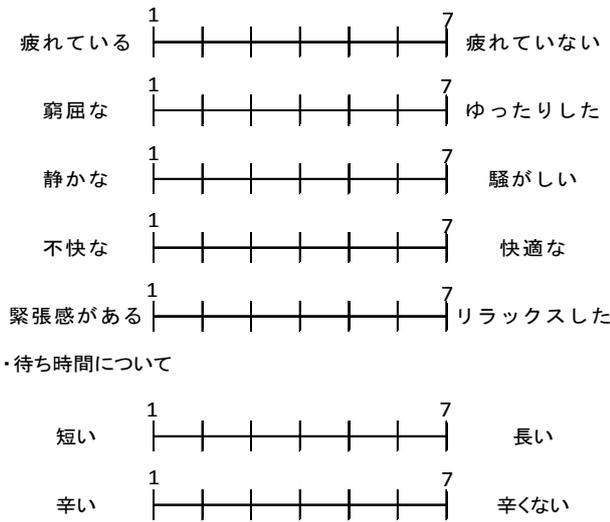


図-4 公共交通利用時の主観的評価項目

4. 電車利用時の実験結果と分析結果

(1) RRI中央値と主観的評価の相関分析

全被験者の電車利用時（JR，名鉄，地下鉄）のRRI中央値と主観的評価において相関分析を行い，結果を表-3に示す。混雑度や窮屈感の項目では，不快感・緊張感において正の相関を得ており，一方が増すと他方も増す。さらに，RRI中央値においては負の相関で，混雑度や窮屈感が増すと，RRI中央値は低くなり負担であるという結果を得た。これより，混雑状態では心理的負担が増すと考えられる。

表-3 電車利用時全体のRRI

	混雑度	窮屈感	騒々しさ	不快感	緊張感
疲れている	0.1986**	0.0891			
騒々しさ	0.0683	0.1246			
不快感	0.7851**	0.8391**	0.2632**		
緊張感	0.7770**	0.8173**	0.2213**	0.8839**	
携帯使用	-0.2498**	-0.2495**	-0.1306	-0.2264**	-0.1006
RRI(M)	-0.2664**	-0.3340**	-0.1798*	-0.3403**	-0.3982**

** : 1%有意 * : 5%有意

(2) 混雑度変化時の心拍変動

ある交通モード利用時に車内の混雑度が変化した場合のRRI中央値を表-4，5に示す。同じ姿勢の状態でも混雑度が異なっている場合のみを示した。表-4の東山線では，混雑度が一段階下がり，RRI中央値は値が増加した。これは，身体的負担が低下したと考えられる。また，バス乗車時では，混雑度が低くなると身体的負担も低下したと考えられる。さらに，表-5の鶴舞線でも同様に混雑度が低くなると心理的負担も低下している。

表-4 被験者Cの混雑度変化時の心拍変動

路線	姿勢	混雑度	RRI(M)(ms)
東山線	立位	圧迫される	816
	立位	普通に立てる	837
バス	座位	圧迫される	876.5
	座位	席はいっぱい	868

表-5 被験者Dの混雑度変化時の心拍変動

路線	姿勢	混雑度	RRI(M)(ms)
鶴舞線	立位	席はいっぱい	676
	立位	余裕で座れる	695

(3) 電車乗換え時の身体的負担

活動時に働く交感神経と関係のあるLF/HFについて，被験者4人のある1経路の算出結果を図-5に示す。研究室付近と自宅付近とは，最寄り駅と目的地の街路空間の歩行を示す。被験者Aは乗換えが1回，他の被験者は2回の乗換えを行っている。ほとんど全ての乗換え時のLF/HFが街路空間の歩行より高く，身体的負担を受けていると考えられる。被験者Fのみ2回目の乗換え時が他の歩行と比較して最も値が小さくなった。LFとHFの各成分をみたところ，深呼吸時に現れるHF成分の値が大きいため比が小さくなったと考えられる。

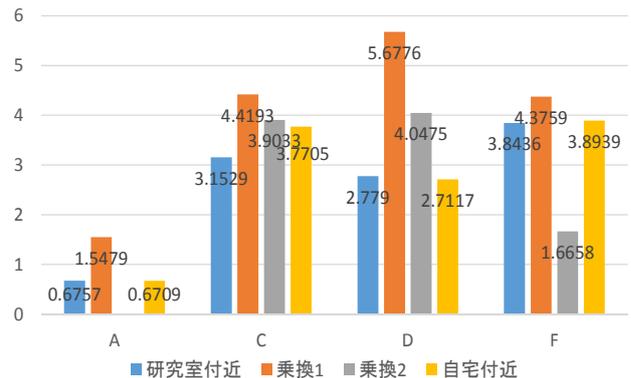


図-5 歩行時のLF/HF

5. 交通モード別の実験結果と分析結果

(1) 交通モード別の心拍変動

全被験者のうち被験者Fに着目し，ある1日のRRI変動を図-6に示す。鉄道利用時には，名古屋鉄道（以下「名鉄」）もしくは，名古屋市営地下鉄の場合は路線名を記入した。また，車内環境が変化した場合は区別した。図-6より，自転車走行時のRRI変動が特に大きく見られた。同被験者の交通モード別RRI中央値・LF/HF・消費カロリーの算出結果を表-6に示す。消費カロリーについて，[]内は1分あたりの数値を示す。電車利用時はRRI中央値が高く歩行時と比較すると，電車利用時の方が負担であるという結果であった。運動による身体的負担の程度が大きいためであると考えられる。またLF/HF値につい

て、名鉄利用時は2.4だが、鶴舞線、東山線利用時は4.5以上で名鉄利用時よりLF/HF値が低く、負担であるという結果だった。その理由として、名鉄に乗りしている時間が他に比べて倍以上長いことが関係しているのではないかと考えられる。また、自転車走行時のLF/HF値が他のモードのLF/HF値より低く、副交感神経活動が優勢であるという結果であった。

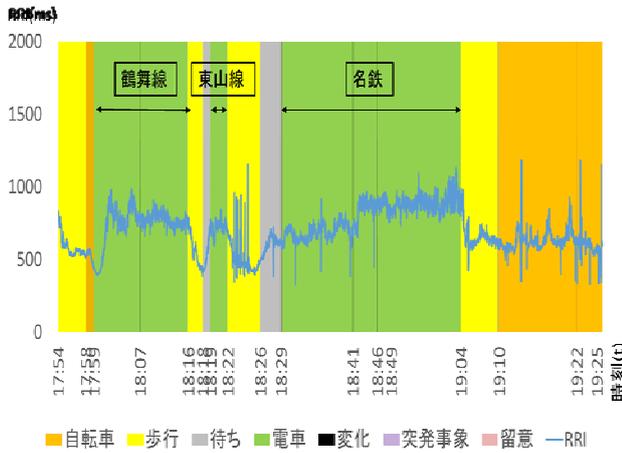


図-6 被験者FのRRI変動

表-6 心拍指標と消費カロリーの結果 (被験者F)

交通モード(分)	RRI(M) (ms)	LF/HF	消費カロリー(kcal)
歩行 (5)	556	3.8436	16.43[3.13,3.91]
地下鉄 (17)	768	5.3468	17.29 [1.02]
乗換 (2)	549.5	4.3759	6.26 [3.13]
待機 (1)	509	3.3591	1.02 [1.02]
地下鉄 (3)	723	4.6337	3.05 [1.02]
乗換 (4)	465	1.6658	12.52 [3.13]
待機 (3)	607	4.3397	3.05 [1.02]
名鉄 (35)	828	2.4245	35.59 [1.02]
歩行 (6)	634	3.8939	18.77 [3.13]
自転車 (15)	615	1.7116	79.79 [5.32]

(2) 交通モード別心拍変動と主観的評価の相関分析

10回の往路データから得られた、被験者AとDの公共交通利用時RRI中央値と主観的評価の相関分析結果を表-7, 8に示す。表-7より、行きの鶴舞線利用時において、疲れている・窮屈感・不快感・緊張感で負の相関得られた。各項目がマイナスの評価であり、RRI中央値は減少傾向で負担であることを示す。名城線利用時には有意な相関を得なかった。被験者Aは鶴舞線の利用が1駅であることから慌ただしさが心理的負担になっているのではないかと考えられる。一方、表-8では、名鉄行きにおいて、不快感、緊張感で負の相関を得た。しかし、地下鉄では有意な相関を得ることができなかった。名鉄利用時は地下鉄利用時と比較してRRI中央値の大小が様々であった。被験者Dは特に名鉄利用時の不快感や緊張感を感じやすいのではないかと考えられる。

表-7 公共交通利用時のRRI中央値と主観的評価の相関分析

		疲れている	窮屈感	騒々しさ	不快感	緊張感
名城線	行	0.2934	-0.0278	0.0792	-0.0929	-0.3514
	帰	-0.6444*	-0.3756	0.2668	-0.5091	0.0955
鶴舞線	行	-0.7461*	-0.7551*	0.3706	-0.8921**	-0.7234*
	帰	-0.5456	-0.2047	-0.3459	-0.2375	-0.2532

** : 1%有意 * : 5%有意

表-8 公共交通利用時のRRI中央値と主観的評価の相関分析

		疲れている	窮屈感	騒々しさ	不快感	緊張感
鶴舞線	行	0.1764	-0.4873	0.0878	0.0095	-0.3008
	帰	0.1604	-0.5347	-0.5956	-0.4754	-0.2554
東山線	行	-0.1640	-0.4481	-0.5393	-0.2882	-0.3887
	帰	0.4242	-0.3128	-0.3341	-0.0649	-0.3639
名鉄	行	-0.3020	-0.2319	-0.0369	-0.5344*	-0.5357*
	帰	0.3630	-0.0494	-0.2365	-0.3077	-0.0423

** : 1%有意 * : 5%有意

(3) 交通モード別の運動強度

全被験者の運動強度変化を図-7に示す。歩行時の運動強度が高いことが見て取れる。さらに、表-9では各被験者のモード毎の運動強度平均値を上段に標準偏差を下段に示した。被験者Fに着目すると、歩行時や自転車走行時に45%を超過しており自覚度してややきつと感じていたのではないかと考えられる。被験者Cはバスを利用しているが、立位時と比較するとバスの方が運動強度が高く、標準偏差が低いことから、運動強度25%の状態が続いていたと考えられる。全被験者の共通事項としては、歩行時や自転車走行時と公共交通利用時で大きな差がみられた。公共交通利用時は自身の動きが少ないため運動強度も低い結果となっているが、立位より座位の方が値が低いことが見られる。また、歩行時の標準偏差が比較的高く、運動強度の増減が大きいことが考えられる。

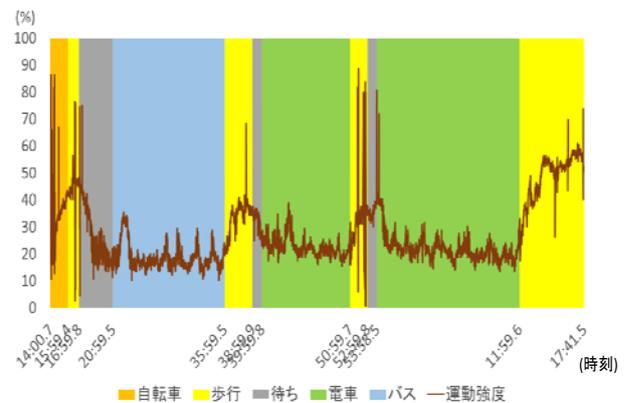


図-7 運動強度の変化 (被験者F)

表9 交通モード別の平均運動強度

モード	移動		待機	電車		バス		自転車	自動車 送迎
	歩行	乗換		立位	座位	立位	座位		
被験者 A	41.8 14.37	32.9 11.35	31.2 8.93	28.1 8.37	20.8 5.64	-	-	-	-
被験者 B	36.4 9.47	27.0 6.12	29.0 7.65	22.8 4.71	20.0 6.05	-	-	-	-
被験者 C	35.2 7.34	33.1 6.61	28.4 5.63	22.6 5.72	20.6 3.62	25.6 2.70	18.6 3.72	34.2 6.23	-
被験者 D	40.7 9.02	36.5 7.61	32.8 6.14	39.1 6.44	23.2 7.28	-	-	45.7 7.70	-
被験者 E	33.1 7.58	30.4 9.27	28.0 6.27	25.0 4.58	14.7 5.17	-	-	37.9 7.02	13.1 8.90
被験者 F	46.3 8.18	29.0 6.91	21.2 4.68	30.2 4.46	20.1 5.33	-	-	48.7 8.54	22.6 6.46

上段：運動強度平均値 下段：標準偏差

6. おわりに

本研究では、交通モード別の移動における移動者の身体的・心理的負担の程度を明らかにすることを目的とし、学生を対象に通学路において実験を行った。そして、主観的評価のみでなく、生理指標やエネルギー量を用いた両面から評価、比較を行った。その結果、個人ごとにRRIの変動の程度に違いはあるものの、歩行や自転車走行などの運動によってRRIは減少傾向にあり、負担となっていることが考えられる。さらに、混雑度が増すと相関分析やRRI中央値の変化より、心理的・身体的負担と

もに増すと考えられる。公共交通間の乗換えに関しては、屋外歩行時よりも乗換え歩行時のLF/HFが大きいことから、乗換えは移動者の身体的負担になっていると考えられる。また、モード間比較の結果、立位時は電車利用時よりバス利用時の運動強度が高い結果を得た。

参考文献

- 1) 国土交通省都支局：健康・医療・福祉のまちづくりの推進ガイドライン，2014
- 2) 塩見康博・嶋本寛・宇野伸宏・太田修平・安健：交通機関選好意識における身体疲労の影響に関する基礎的研究，土木学会論文集 D3 (土木計画学)，Vol.68, No.5, I_573-I_582, 2012
- 3) 中野治美・井上栄：東京在住サラリーマンの通勤時身体運動量，産業衛生学雑誌 52, p.133-139, 2010
- 4) 田中克・松井寛・藤井貴浩：歩行形態別身体的及び心理的負担量に関する研究，土木計画学研究論文集 vol.24, No.3, 2007.9
- 5) 鹿島茂・武田超：通勤ストレスの定量化手法に関する研究，運輸政策研究 vol.11, No.4, p.47-53, 2009
- 6) (独)国立健康・栄養研究所：改訂版『身体活動のメッツ(METS)表』，2012
- 7) 厚生労働省：健康づくりのための運動指針 2006, 2006
- 8) Karvonen MJ, Kentala E, Mustala O.: The effects of training on heart rate : a longitudinal study. *Annales medicinae experimentalis et biologiae Fenniae*. Vol. 35. No. 3. 1957.

(2017. 4. 28 受付)

Comparison of physical and psychological burden in moving between transportation modes

Mariko NAKATSUKASA, Sayuri YOSHIDA and Atsushi SUZUKI