

照度が安静時歩行時の心拍変動に与える影響

谷下 雅義¹・窪田 忠和²・浅田 拓海³・小林 宏光⁴

¹正会員 中央大学教授 理工学部都市環境学科 (〒112-8551 文京区春日 1-13-27)

E-mail: tanishi@civil.chuo-u.ac.jp

²学生会員 中央大学理工学部土木工学科 (〒112-8551 文京区春日 1-13-27)

E-mail: mla00227@nifty.com

³正会員 中央大学教育技術員 理工学部都市環境学科 (〒112-8551 文京区春日 1-13-27)

E-mail: t-asada@civil.chuo-u.ac.jp

⁴非会員 石川県立大学看護学部看護学科 (〒929-1210 石川県かほく市学園台 1-1)

E-mail: kobayasi@ishikawa-nu.ac.jp

本研究は、照度が安静時および歩行時の心拍変動に及ぼす影響について分析するものである。安静時、および歩行前の条件や歩行速度を制御して、現行の照度基準である 3lx と 10lx で心拍変動指標 (RRI, lnHF, lnLF/lnHF) に有意な差があるかについて検討した。その結果、3lx 以下の照度と比較して、10lx 以上の照度では安静時および歩行時に感じるストレスが小さいことを示した。また歩行中の照度が高いほど回復時間が短く、RRI 積分値が小さくなり、0.1~10lx の照度と 30lx 以上の照度では有意差があることがわかった。そして歩行者は安静時から歩行時の照度変化によっても、ストレスを受ける可能性があることを明らかにした。

Key Words : Illuminance, Heart Rate Variability, Rest and Walking

1. はじめに

徒歩は最も基本的な交通手段であり、人々が安全かつ快適に歩行できる空間の形成は、健康かつ低炭素な都市を目指す上できわめて重要なテーマである。

歩行空間の質を低下させている要因の一つとして照明がある。夜間歩行中に、多くの人が不安感などの精神的負荷 (以下ストレス) を抱くことはよく知られている。また青色灯を用いた犯罪防止の取組も行われている。

本研究では、照度に着目して検討を行う。現在の街灯整備の照度基準「JIS Z 9111」¹⁾では、住宅地域における水平面平均照度は、歩行者の多い道路で 5lx、少ない道路で 3lx となっている。警察庁「安全・安心まちづくり推進要綱」²⁾では、4m 先の歩行者の顔の概要が識別できる、あるいは挙動・姿勢などがわかる基準として、それぞれ 5lx、3lx の照度が防犯上望ましいとされている。

一方、「歩行者のための屋外公共照明基準」³⁾では使用状況および周囲の明るさによって 3~20lx を推奨している。「道路の移動等円滑化整備ガイドライン」⁴⁾では、3lx では半数以上の被験者が視認性に満足しておらず、高齢者や障害者を含め半数以上が満足するためには 10lx 以上必要とされており、推奨照度の見解はわかれている。

これらの基準は、アンケート調査や実験にもとづく意識調査から定められているが、こうした調査は

回答者によるばらつきが大きく、質問によって異なる結果が導かれる可能性がある。

これに対し、人が感じているストレスを定量的に評価する方法として生理的評価がある。歩行者が感じる不安や緊張をまとめてストレスという指標で評価でき、意識調査ではわからない、本人が気づいていない反応を検出できる可能性も有している。

本研究では生理的評価に心拍変動 (Heart Rate Variability: HRV) を用いる。心拍変動測定は胸部に電極を取り付けるだけで良く、被験者の動きを妨げないために歩行中の計測に適している。照度による心拍変動への影響に関する過去の研究では、安静座位での計測しか行われておらず、歩行時や 10lx 以下の極端に暗い条件を中心とした計測は行われていない。

そこで本研究では照度が安静時および歩行時の心拍変動に及ぼす影響について分析することを目的とする。照度、歩行と心拍変動の関係は、図-1 のように考えられる。歩行前の条件や歩行速度を制御して、暗闇や現行の照度基準である 0.1~3lx と 10lx 以上で心拍変動に有意な差があるかについて検討する。

2. ストレス指標

心拍変動から得られる定量的指標として表-1 がある。本研究ではこれらをストレス指標として用いる。

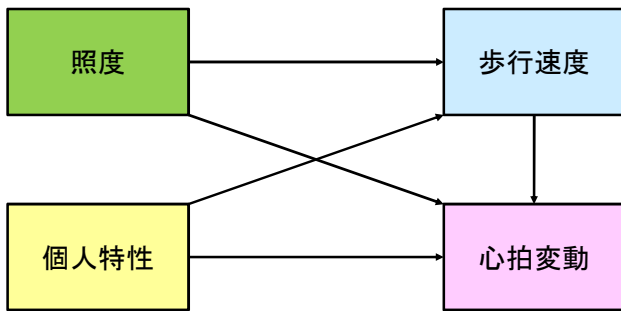
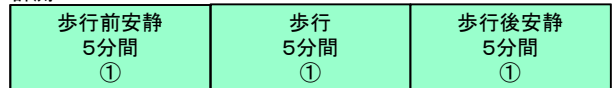


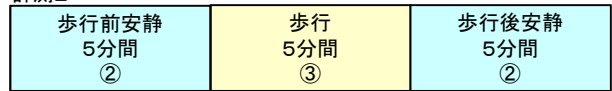
図-1 心拍変動とその要因

計測1



①「0.1lx」,「1lx」,「3lx」,「10lx」,「30lx」,「300lx」の6パターンの照度で計測

計測2



②「300lx」の照度で固定

③「0.1lx」,「1lx」,「3lx」,「10lx」,「30lx」の5パターンの照度で計測

図-2 計測パターン

表-1 心拍変動指標

指標	定義	ストレスの影響
RRI	心臓が鼓動を打つ際に生じるR波とR波の間隔	低下
lnHF, lnLF/lnHF	心拍変動のスペクトル解析を行ったとき、副交感神経と関わりがあり高い周波数をもつ成分が HF、交感神経と副交感神経の両方と関わりがあり低い周波数をもつ成分が LF. これらの時系列データのヒストグラムは対数をとると正規分布に近づく ⁵⁾	HF が減少し、LF/HF が増加

注 LF は交感神経とは関わりがあるが、交感神経とは関わりがないとする意見もあり、根本的な部分での不明確な点も多い⁶⁾

回復時 RRI 積分值

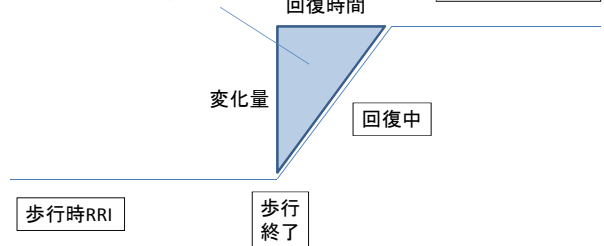


図-3 回復時 RRI 積分值



写真 1-6 水平面平均照度

3. 方法

計測照度は「約 0.1lx」,「約 1lx」,「約 3lx」,「約 10lx」,「約 30lx」,「約 300lx」である (写真 1-6).

各照度に対して「歩行前座位安静」→「歩行」→「歩行後座位安静」を各 5 分間、計 15 分間を 1 回

として計測を行う。

座位安静から歩行に切り替わる際の照度変化が歩行中の心拍変動に影響を与える可能性、また座位安静時の照度が安静時の心拍変動に影響を与え、間接的に歩行中の心拍変動に影響を及ぼす可能性が考えられるため、以下の 2 パターンで計測を行う (図-2)。

計測 1 : 照度一定. 歩行前座位安静, 歩行中, 歩行後座位安静すべてで照度を一定に保つ.

計測 2 : 歩行時のみ照度を変化. 歩行前後の座位安静では照度を 300lx にし, 歩行中のみ照度を変える.

その上で、安静時、歩行時そして回復時の RRI, lnHF, lnLF/lnHF を計測し、それぞれの平均値により比較する。なお、回復の定義は、歩行後安静時の RRI の 15 サンプルの平均値が歩行前安静時 RRI 平均値の値と統計的に有意な差がなくなった時点とした (この妥当性は今後の課題である)。そして、図-3 に示す歩行時と安静時の RRI 変化量と回復時間で表される三角形部分の面積を「回復時 RRI 積分值」として算出し、比較を行った。

4. 計測

心拍は日内変動が大きく⁸⁾、時刻による心拍変動への影響をできる限り小さくするため、午後 6~10 時、中央大学後楽園キャンパス 3 号館 1 階会議室で計測を行った。窓のシャッターを降ろし、照度に影響を与える光が外から入ってこないような環境を作り、照明のスイッチによって照度を調節した。

安静時には、足は組まず、足の裏をしっかりと地

面に着け、なるべく体を動かさないようにした。また計測の1時間前からは飲食や運動を控えるようにした。

計測機器として、心拍変動計測のために POLAR 社 RS800CX を左左手首に装着し、その電極トランスミッターを胸部に装着した。歩行速度は「約 4.5km/h」と一定に保つようにし、POLAR 社 S3 ストライドセンサー W.I.N.D を右足靴紐部分に装着することで、歩行速度を確認した。また解析ソフトとして (株) ミュキ技研の心拍変動ログ解析プログラム (Complex Demodulation 法を用いて時刻別の HF, LF などを算出する) を利用した。

被験者は 24 歳男性であり、計測は 2010 年 12 月～2011 年 2 月に、計測 1 では各照度 15 回 (計 90 回)、計測 2 では各照度 15 回 (計 75 回) 行った。

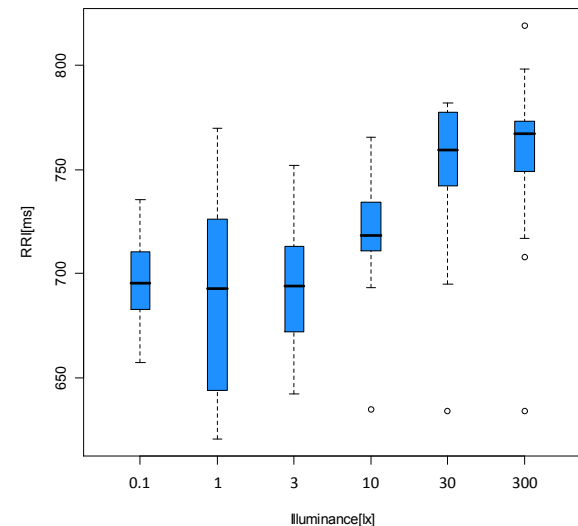
5. 結果

(1) 安静時

計測 1 の安静時の各照度における心拍変動について、RRI, lnHF, lnLF/lnHF の各ストレス指標による結果を図 4-6 に示す。箱ひげ図の下の表は、該当する照度における心拍変動のペアで t 検定を行った際の p 値を表している (以下、同様)。

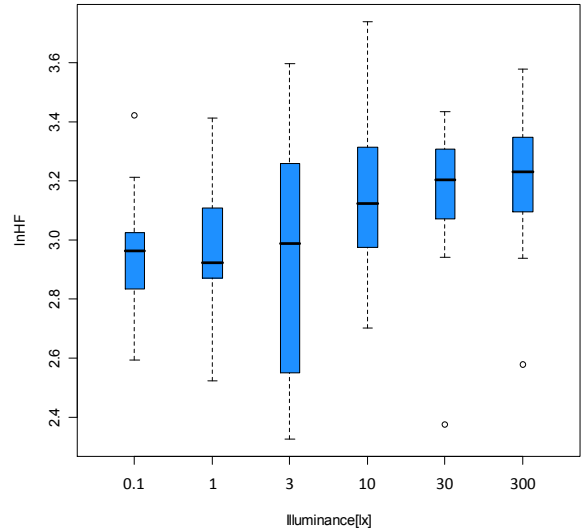
先行研究と同様に、安静時は照度が高くなるほどストレスが軽減されることが確認でき、3lx 以下と 10lx 以上の照度ではすべてのストレス指標に有意水準 5% で差がみられた。

安静時の心拍変動が歩行時の心拍変動に影響を与える可能性があるため、計測 1 だけではなく、安静時の照度を一律 300lx にした計測 2 の結果を合わせて、歩行時の心拍変動を評価する必要がある。



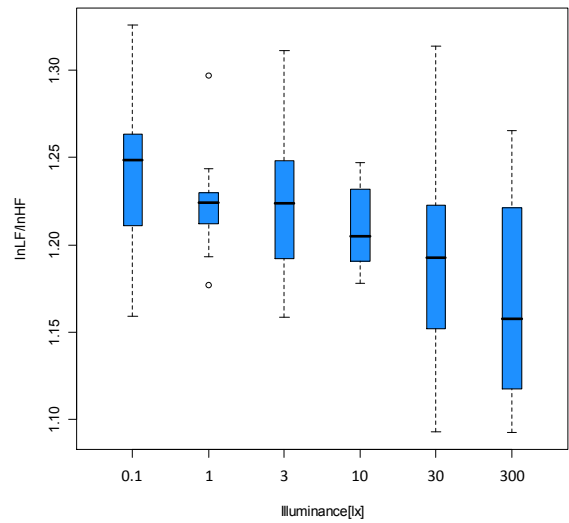
	0.1lx	1lx	3lx	10lx	30lx	300lx
0.1lx	1.00					
1lx	0.71	1.00				
3lx	0.69	0.93	1.00			
10lx	0.03	0.08	0.03	1.00		
30lx	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00	
300lx	0.00	0.00	0.00	0.01	0.71	1.00

図-4 安静時 RRI



	0.1lx	1lx	3lx	10lx	30lx	300lx
0.1lx	1.00					
1lx	0.91	1.00				
3lx	0.78	0.84	1.00			
10lx	0.04	0.05	0.09	1.00		
30lx	0.03	0.03	0.08	0.96	1.00	
300lx	0.01	0.01	0.04	0.62	0.64	1.00

図-5 安静時 lnHF



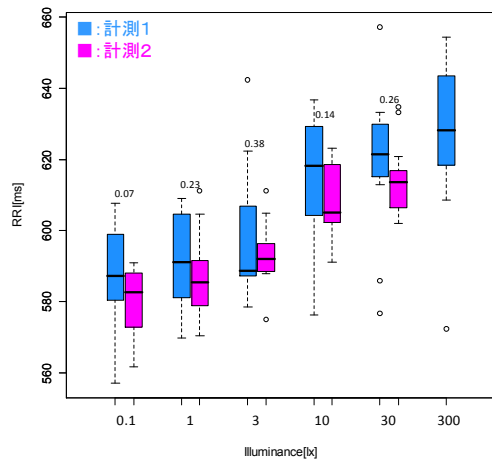
	0.1lx	1lx	3lx	10lx	30lx	300lx
0.1lx	1.00					
1lx	0.17	1.00				
3lx	0.35	0.78	1.00			
10lx	0.02	0.15	0.19	1.00		
30lx	0.01	0.05	0.05	0.22	1.00	
300lx	0.00	0.00	0.00	0.02	0.29	1.00

図-6 安静時 lnLF/lnHF

(2) 歩行時

計測 1・2 で得られた歩行時の各照度における心拍変動について、照度別の RRI, (歩行前安静時からの) RRI 変化量, lnHF, lnLF/lnHF の各ストレス指標を図-7-10 に示す。

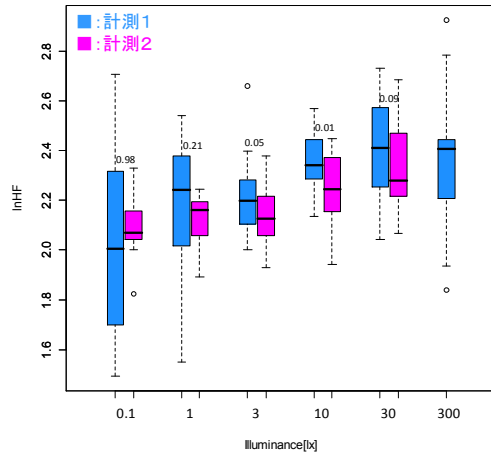
安静時と同様に、照度が高くなるほどストレスが軽減され、3lx 以下の照度と 10lx 以上の照度では歩行時に感じるストレスに有意な差があるという結果が得られた。



	0.1lx	1lx	3lx	10lx	30lx	300lx
0.1lx	1.00					
1lx	0.53	1.00				
3lx	0.13	0.30	1.00			
10lx	0.00	0.00	0.01	1.00		
30lx	0.00	0.00	0.00	0.52	1.00	
300lx	0.00	0.00	0.00	0.13	0.38	1.00

	0.1lx	1lx	3lx	10lx	30lx
0.1lx	1.00				
1lx	0.11	1.00			
3lx	0.00	0.06	1.00		
10lx	0.00	0.00	0.00	1.00	
30lx	0.00	0.00	0.00	0.13	1.00

図-7 歩行時 RRI (上表: 計測 1, 下表: 計測 2)



	0.1lx	1lx	3lx	10lx	30lx	300lx
0.1lx	1.00					
1lx	0.36	1.00				
3lx	0.14	0.49	1.00			
10lx	0.01	0.02	0.02	1.00		
30lx	0.00	0.00	0.01	0.27	1.00	
300lx	0.01	0.04	0.07	0.78	0.59	1.00

	0.1lx	1lx	3lx	10lx	30lx
0.1lx	1.00				
1lx	0.73	1.00			
3lx	0.35	0.52	1.00		
10lx	0.02	0.03	0.11	1.00	
30lx	0.00	0.00	0.00	0.12	1.00

図-9 歩行時 lnHF (上表: 計測 1, 下表: 計測 2)

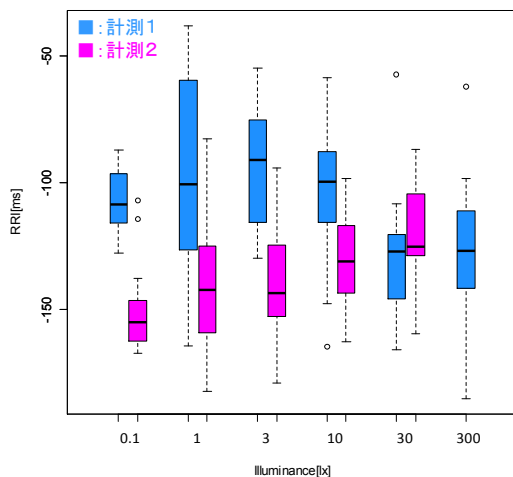


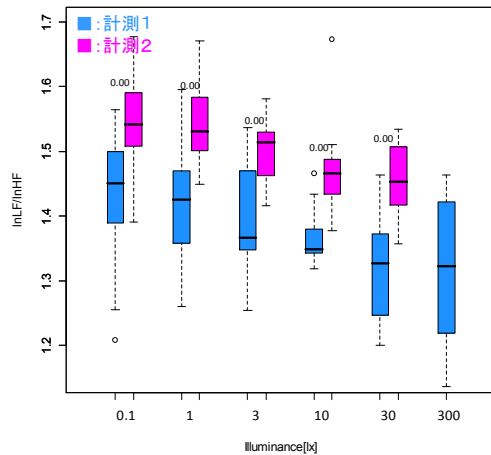
図-8 RRI 変化量

また計測 1・2 を比較すると、RRI と lnHF ではほとんどの照度で有意な差はみられなかったものの、計測 1 よりも計測 2 の方がややストレスを感じている傾向が見られた。安静時と歩行時の照度の変化が歩行者にストレスを与えている可能性が示唆される。

RRI 変化量は、照度を一定に保った計測 1 においては、明るい方が大きく低下する（身体的負荷の影響が大きい）。

(3) 歩行終了後回復時

歩行終了後回復時の心拍変動の RRI 積分値を図-11 に示す。計測 1 における照度が 10lx の場合の回復速度ではやや差が見られるものの、回復速度の有意差は見られず、照度によって回復速度が異なると



	0.1lx	1lx	3lx	10lx	30lx	300lx
0.1lx	1.00					
1lx	0.75	1.00				
3lx	0.43	0.60	1.00			
10lx	0.06	0.07	0.24	1.00		
30lx	0.01	0.01	0.03	0.09	1.00	
300lx	0.01	0.01	0.03	0.10	0.83	1.00

	0.1lx	1lx	3lx	10lx	30lx
0.1lx	1.00				
1lx	0.76	1.00			
3lx	0.18	0.08	1.00		
10lx	0.02	0.01	0.15	1.00	
30lx	0.00	0.00	0.02	0.49	1.00

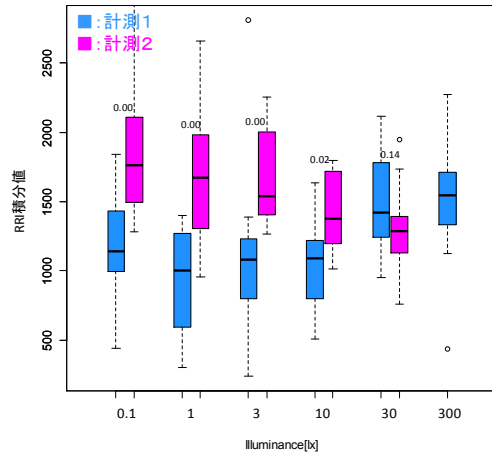
図-10 歩行時 lnLF/lnHF (上表: 計測 1, 下表: 計測 2)

は言えない結果となった。したがって、回復時間は、安静から歩行に切り替わる際の RRI 変化量 (図-8) にはほぼ比例することになる。したがって、安静時の照度を一律 300lx にした計測 2 では、回復時間は照度が高いほど短くなっている。

同様に、回復時間が RRI 変化量に依存することから、RRI 積分値も RRI 変化量にほぼ比例し、計測 2

表2 0.1~3lx と 10~30lx の照度における各指標の有無の有意差の有無

指標	安静時	歩行時	回復時
RRI	有	有	有
RRI 積分値	(有)	(有)	有
lnHF	有	有	無
lnLF/lnHF	有	有	無



	0.1lx	1lx	3lx	10lx	30lx	300lx
0.1lx	1.00					
1lx	0.07	1.00				
3lx	0.48	0.47	1.00			
10lx	0.28	0.37	0.94	1.00		
30lx	0.02	0.00	0.02	0.00	1.00	
300lx	0.03	0.00	0.02	0.00	0.98	1.00

	0.1lx	1lx	3lx	10lx	30lx
0.1lx	1.00				
1lx	0.63	1.00			
3lx	0.72	0.91	1.00		
10lx	0.26	0.50	0.43	1.00	
30lx	0.00	0.02	0.01	0.20	1.00

図-11 RRI 積分値 (上表: 計測1, 下表: 計測2)

では RRI 積分値は照度が高いほど小さくなった。計測1では RRI 積分値は照度が高いほど大きくなっているが、これも RRI 積分値が RRI 変化量にほぼ比例しているためである。そのため今後はこれらのことに配慮して RRI 積分値をはじめとする回復の定義を考えていく必要がある。

9. まとめ

以上の結果をまとめると表-2 のようになる。RRI, lnHF, lnLF/lnHF の3つの指標から、「0.1~3lx の照度と比較して、10~30lx の照度では安静時および歩行時に感じるストレスが小さい」という結果が得られた。また歩行中の照度が高いほど回復時間が短く、RRI 積分値が小さくなり、0.1~10lx の照度と 30lx 以上の照度では有意差があることがわかった。そして歩行者は安静時から歩行時の照度変化によっても、ストレスを受ける可能性があることを明らかにした。しかし回復終了後については照度による有意差を確認することができなかった。

今後の課題は少なくない。まず、本研究の被験者は1名であり、今回の結果が偶然なものである可能性は捨てきれない。そのため今後は老若男女の被験者の協力を得て、数多くの計測を行っていく必要がある。回復の定義によって結果が大きく異なることが確認されているため、どのような定義がよいか考えることも必要である。

また今回は被験者が歩きやすいと感じる歩行速度に統一して計測を行っているが、今後は「早歩き」、「遅歩き」など、歩行速度を変えて計測を行うことで、新しい知見が得られる可能性がある。

そして計測する部屋の広さによって、安静時・歩行時の照度変化によって受ける印象は大きく変わってくる。今回は会議室くらいの広さであるが、体育館やアリーナのような広い空間で計測した場合には、本研究とはまた異なった結果が得られる可能性がある。

さらに今回対象とした照度は 0.1~300lx の6パターンであるが、今後調光器を備えた室内で計測を行うことで、照度の連続的な変化を対象にした計測が行うことが可能になると思われる。

その他、自律神経機能には照度そのものよりも照明の色温度の影響が大きいという結果が報告されており、照度だけを変えるのではなく、照度と色温度の変化を合わせた実験も必要であると考えられる。

謝辞: 本研究の遂行にあたり、松山史彦氏(東京都)の協力を得た。また大木昇氏(のるぶろライトシステムズ)、金先生、石田眞二先生(北海道工業大学)、鹿島茂先生(中央大学)より貴重なコメントをいただいた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) JIS : 道路照明基準 JIS Z9111-1988, 1988.
- 2) 警察庁 : 安全・安心まちづくり推進要綱, 2000.
- 3) 照明学会 : 歩行者のための屋外公共照明基準 JIEC-006-1994, 1994.
- 4) 財団法人国土技術研究センター : 道路の移動等円滑化整備ガイドライン, 大成出版社, 2003.
- 5) 小林宏光 : メンタルワークロードと心拍変動, 労働の科学, 57(1), pp62-65, 2002.
- 6) Langewitz W, Rüdell H, Schächinger H, Lepper W, Mulder LJ, Veldman JH, van Roon A. : Changes in sympathetic and parasympathetic cardiac activation during mental load: an assessment by spectral analysis of heart rate variability, Homeostasis, 33, pp.23-33, 1991.
- 7) Grossman P, Kollai M. : Respiratory sinus arrhythmia, cardiac vagal tone, and respiration: Within- and between-individual relations, Psychophysiology, 30, pp.486-495, 1993.
- 8) 井上博 : 循環器疾患と自律神経機能, 医学書院, 1996.

IMPACT ANALYSIS OF ILLUMINANCE ON HEART RATE VARIABILITY DURING REST AND WALKING

Masayoshi TANISHITA, Tadakazu KUBOTA, Takumi ASADA, Hiromitsu KOBAYASHI

This study aims to analyze the impact of illuminance on heart rate variability at rest and during walking. Controlling the walking speed and other affecting conditions, we compare the indices of heart rate variability (RRI, lnHF, lnLF / lnHF) between less than 3lx and more than 10lx. As a result, in both rest and walking conditions, there were statistically significant differences between less than 3lx and more than 10lx. The higher the illuminance becomes, the shorter recovery times while walking.