

照度が歩行時・安静時の 心拍変動に及ぼす影響

浅田 拓海¹・谷下 雅義²

¹正会員 中央大学助教 理工学部都市環境学科 (〒112-8551 東京都文京区春日1丁目13-27)
E-mail:t-asada@civil.chuo-u.ac.jp

²正会員 中央大学教授 理工学部都市環境学科 (〒112-8551 東京都文京区春日1丁目13-27)
E-mail:tanishi@civil.chuo-u.ac.jp

本研究では、被験者3名に関して、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した。心拍変動指標であるRRIを用いて分析を行なったところ、安静時に関しては、照度が高い方を好む人もいれば好まない人がいることが分かり、現行の照度基準である3lxと10lxでは明確な差はみられなかった。また、安静時RRIと高負荷運動時RRIから、歩行時RRIを推定する方法について検討し、これを基に、個人の心肺機能や運動特性によらない共通尺度として安静時から歩行時へのRRI低下率を提案した。その結果、安静時から歩行時に移る際の照度低下量が大きいほど、RRI低下率が大きい、すなわちストレスを受ける度合いが大きい可能性があることが分かった。

Key Words : *Illuminance, Heart Rate Variability, Rest and Waking, Pedestrian Stress*

1. はじめに

歩行は、最も基本的な交通手段であり、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極めて重要なテーマである。このような歩行空間の質を議論するための重要な変数の一つとして「照明」が挙げられる。照度の低い（暗い）空間を歩行する時、多くの人々が不安感などの精神的負荷（以下、ストレス）を感じることはよく知られている。

現在、街灯整備の照度基準「JIS 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。警視庁の「安全・安心まちづくり推進要綱」²⁾では、4m先の歩行者の顔が識別できる、あるいは挙動・姿勢などが分かる基準として、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以上が必要とされており、推奨照度の見解に不一致が見られる。

これらの基準は、アンケート調査や実験に基づく、意識調査から定められている。しかしながら、このような

計量心理学的な評価結果にはバイアスが含まれることや、個人差が大ききことが指摘されており、質問方法・内容によっては、全く異なる結果が得られる可能性がある。

近年、生体反応として出力される心拍変動や脳波などから、人が感じているストレスを定量的かつ客観的に表あを行なっている研究が数多く報告されている。特に、心拍変動（Heart Rate Variability : HRV）に関しては、計測装置が簡易かつ安価で、ノイズが比較的小さいというメリットがあることから注目を浴びている。また、この装置は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。

上記のような背景から、著者らは、先行研究において、歩行時や極端に暗い条件を中心として、心拍計測を行い、安静時・歩行時ともに、3lx以下と比較すると、10lx以上の方がストレスは小さい、という興味深い知見を得た⁵⁾。しかしながら、被験者が1人のため、得られた結果が偶然という可能性がある。また、心拍変動データによって得られるRRIやHFなどの複数の指標のうち、どれが安定的に計測できるかについても明らかにされていない。

そこで、本研究では、被験者を3人に増やして、先行研究と同様の実験を行い、被験者間での比較が可能となる指標について検討するとともに、照度が安静時・歩行時の心拍変動に与える影響について明らかにすることを目的とする。

2. 実験の概要

心拍変動から得られる定量的指標^{9,7)}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。また、照度、歩行、心拍変動の関係は、図-1のように考えられることから、歩行速度を制御して計測を行う。

先行研究と同じように、「0.1lx」「1lx」「3lx」「10lx」「30lx」「300lx」の6パターンの照度を設定した。図-2に示すように、実験は、「計測1」と「計測2」の2種類に区分し、両者ともに、安静5分間→歩行5分間→安静5分間の計15分間の計測を行う。計測1では、15分間常に照度を一定にする。計測2では、歩行前後の安静時の照度を300lxに統一し、歩行時のみ照度を変える。

実験は、中央大学後楽園キャンパス3号館10階会議室で実施し、心拍の日内変動⁹⁾を考慮して、午後6～10時の時間帯に計測を行なった。図-3に示すように、外部からの光を遮断し、室内天井に設置されている照明の組み合わせのみによって各設定照度になるよう調整した。

計測装置としては、POLAR社の「RS800CX」「電極トランスミッター」「S3ストライドセンサー」を用い、それぞれ左手首、胸部、左足靴ひも部に装着した。RS800CXはロガーであり、電極トランスミッターから心電図信号（RRIデータ）を、S3ストライドセンサーから歩行速度信号を受信し、記録、表示する。歩行計測時の歩行速度は約4.5km/hとし、事前にその速度がどの程度かを確認してもらった。計測によって得られたRRIデータを1秒間隔の時系列データに変換するとともに、このデータからミュキ技研の心拍変動ログ解析プログラムにより、1秒間隔のHFおよびLF^{9,10)}を算出した。

被験者は、20歳の男性3名であり、各被験者につき、計測1（照度6パターン）、計測2（照度5パターン）をそれぞれ4回（計44回の計測）を行なった。実験に当たって、被験者には、計測の1時間前からの飲食や運動は控えるように事前に指示した。

3. 照度が心拍変動に与える影響

各照度におけるサンプル数は多くないため、1lxと3lx、10lxと30lxのデータを結合（平均化）した。また、被験者3名ともに、表-1の3つ指標の内、RRIが最も安定していたことから、以下では、RRIデータのみを分析に用いる。なお、本研究では、歩行前安静時のRRI（以下、 RRI_R ）と歩行時のRRI（以下、 RRI_W ）に着目したため、歩行後安静時については検討していない。

先行研究では、照度と3指標の関係から、照度が被験者に与える影響を検討した。しかし、図-4に示すように、本実験では、歩行前安静時に同じ人でもばらつきが大きい

表-1 ストレスの定量指標

指標	説明	ストレスとの関係
RRI	心臓が鼓動する際に生じるR波の時間間隔(単位:msec)	・ストレスが大きいほど、RRIは小さい。
lnHF lnLF	・RRIの時系列データからスペクトル解析によって得られる周波数成分。 ・HFは0.2～0.35Hzの成分であり、副交感神経との関わりがある。 ・LFは0.05～0.2Hzの成分であり、交感神経と副交感神経の両方と関係がある。	・ストレスが大きいほど、lnHFは小さく、lnLF、lnLF/lnHFは大きい。

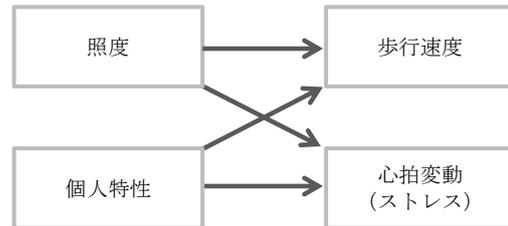


図-1 心拍変動の要因

●計測1

歩行前安静 5分間	歩行 5分間	歩行後安静 5分間
照度は15分間常に一定 0.1, 1, 3, 10, 30, 300lxの6パターン		

●計測2

歩行前安静 5分間	歩行 5分間	歩行後安静 5分間
300lx	0.1, 1, 3, 10, 30lxの 5パターン	300lx

図-2 実験パターン

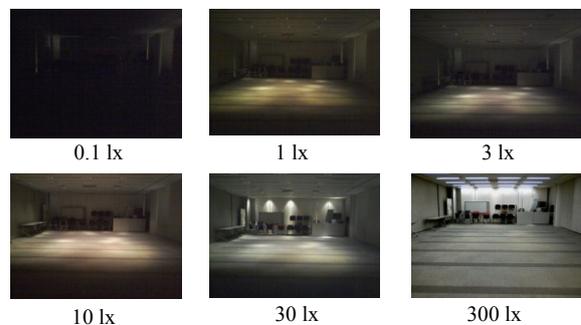


図-3 設定照度

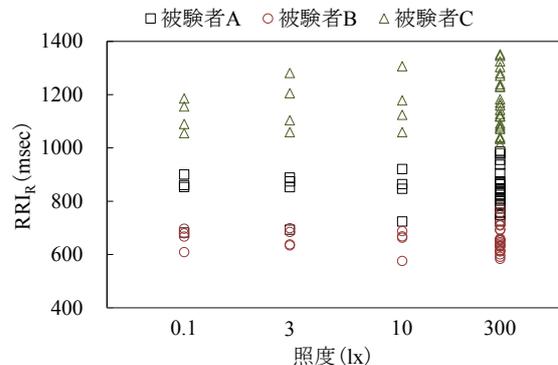


図-4 歩行前安静時の RRI_R

かったため、単純に歩行時において比較することができない。なお、照度間の平均RRIの差について検定（有意水準5%）を行った結果、ほとんど差が生じなかった。

(1) 安静時

図-5に示すような方法を用いて、300lx時のRRI_Rを100とした場合の各照度におけるRRI_R変化率を求めた。計測1の安静時における各被験者のRRI_R変化率を図-6に示す。被験者Aは特徴が見られないが、被験者Bは照度が高くなるにつれストレスが軽減し、逆に被験者Cはストレスの影響を受けている傾向が見られた。よって、高い照度を好む人もいれば、好まない人もいる可能性があると言える。

(2) 歩行時

RRIは、運動負荷の強度によって大きく変動する。さらに、その変動幅は個人の心肺機能等によって大きく異なり、歩行のような軽度の運動負荷でも顕著に表れると考えられる。そこで、このような運動負荷の影響について検討するために、個人の有するRRIの最小値を求めた。具体的には、高負荷の運動実験（階段昇降）を行い、運動直後15秒間のRRI平均値（以下、RRI_{min}）を求めた。その結果、RRI_{min}は、被験者Aが414msec、被験者Bが352msec、被験者Cが431msecを示し、最大で約80msecの差があった。

安静時RRI_RとRRI_{min}の差を個人が有するRRI変動域（以下、RRI_{range}）と定義し、全計測結果において算出した。また、RRI_Rから歩行時のRRI_Wを差し引いたRRIの低下量（以下、 Δ RRI）を算出し、RRI_{range}との関係求めた（図-7）。被験者によってデータの範囲が大きく異なるものの、いずれの被験者においても高負荷の運動によってRRIが150msec以上低下し、かつほぼ一つの直線状になることが分かる。この直線は、

$$\Delta RRI = 0.65RRI_{range} - 95 \quad (1)$$

と推定された（ $R^2=0.94$ ）。また、この式(1)を展開することにより、次の式(2)を得る。

$$RRI_W = 0.65RRI_{min} + 0.35RRI_R + 95 \quad (2)$$

この式(2)により、RRI_Rと高負荷の運動をしたときのRRI_{min}からRRI_Wが推定可能となる。

式(1)より、RRI_{range}がおおよそ150msec以下となると、安静時と歩行時の差である Δ RRIは0になることが分かる。したがって、歩行時における心拍変動の分析にあたり、安静時から歩行時へのRRIの低下率として、以下の2つ

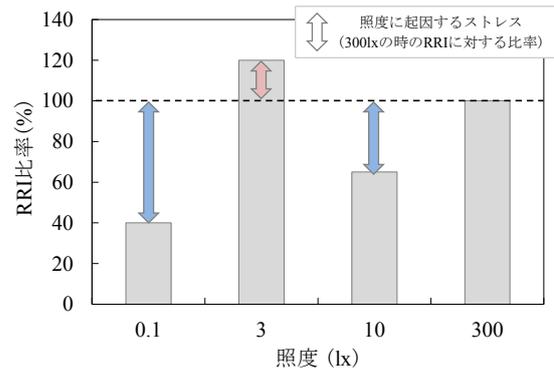


図-5 RRI変化率の算出方法

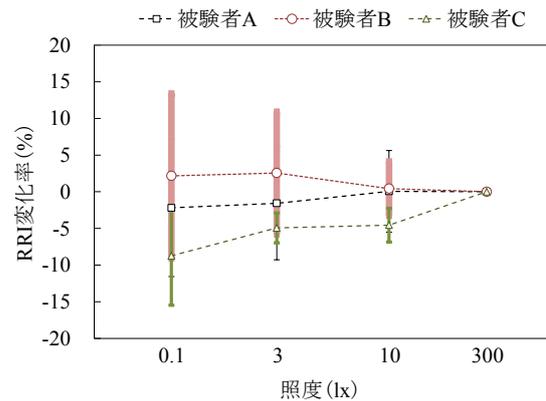


図-6 照度とRRI変化率の関係（計測1安静時）

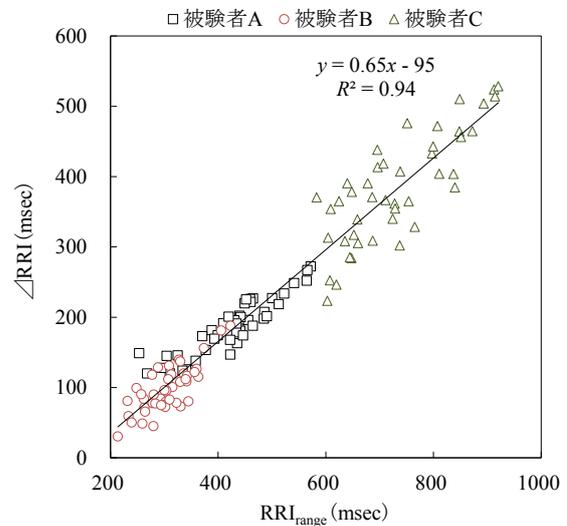


図-7 RRI_{range}と Δ RRIの関係

指標（RRI低下率A・B）を定義して分析を行った。なお、この指標は人によらない無次元の量となっている。

$$RRI\text{低下率}A = (RRI_R - RRI_W) / (RRI_{range} - 150) \quad (3)$$

$$RRI\text{低下率}B = (RRI_R - RRI_W) / RRI_{range} \quad (4)$$

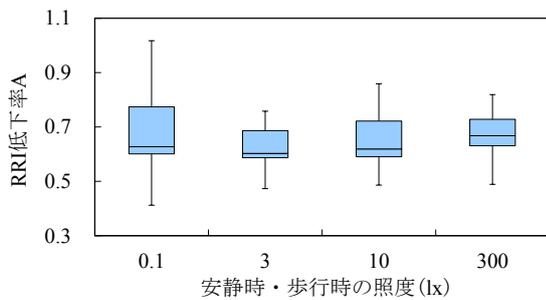


図-8 RRI低下率 A と照度の関係 (計測 1)

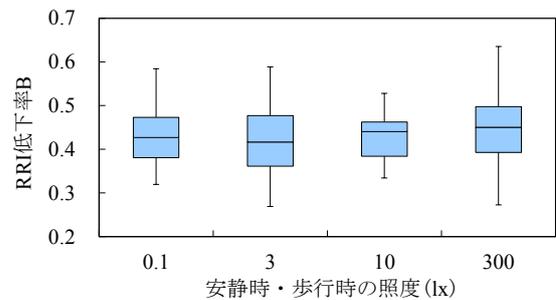


図-9 RRI低下率 B と照度の関係 (計測 1)

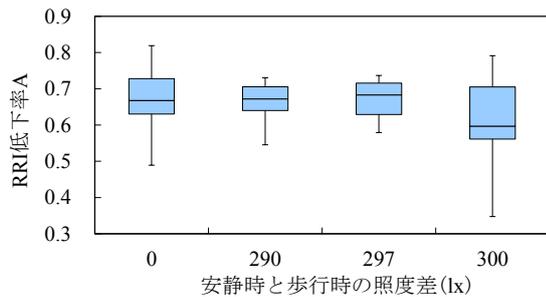


図-10 RRI低下率 A と照度差の関係 (計測 2)

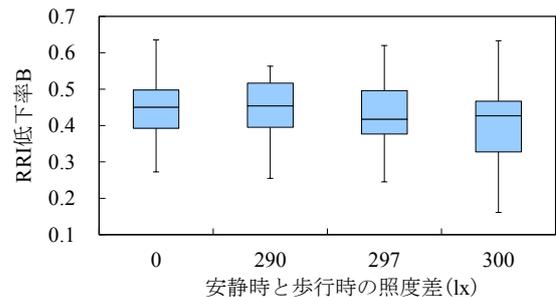


図-11 RRI低下率 B と照度差の関係 (計測 2)

計測1におけるRRI低下率A, Bをそれぞれ図-8, 図-9に示す. 安静時から歩行時のRRI低下率 (A, B) は照度によってほとんど変化がみられないことから, 照度変化なしでの歩行時のRRI_wは安静時のRRI_rと同様の変動をしている可能性がある. 計測2におけるRRI低下率A, Bをそれぞれ図-10, 図-11に示す. なお, 計測1の照度300lx (安静時と歩行時で一定) のケースを「照度差0lx」として同図に記載した. RRI低下率Bでは, 明確な差が見られないが, RRI低下率Aでは, 歩行前 (300lx) と歩行時の照度差が大きい方が, ストレスを強く受けている傾向が見られた. したがって, 照度の変化によって, ストレスが生じる可能性があると言える.

4. まとめ

本研究では, 被験者3名に関して, 各照度レベル環境下での安静時・歩行時の心拍計測を行なった. 得られた知見を以下に整理する.

- RRI, HF, lnLF/lnHFの3つの心拍変動指標のうち, RRIが最も安定した指標である.
- 安静時, 歩行時ともに, 照度による有意な差は見られなかった. また, 照度が高い方を好む人もいれば好まない人もいる.
- 安静時のRRIが大きいほど, 歩行時のRRIは低下する. また, 今回の被験者3名に関して, 高負荷運動時のRRIと安静時のRRIの差は150ms以上であった.

- この150msを考慮した歩行時RRI低下率は, 個人の心肺機能や運動特性によらない共通尺度として用いることができる可能性が示され, これを被験者3名で比較したところ, 歩行時の照度が暗いほど, 低下率が大きくなる傾向がみられた.

今後は, 安静時RRIを安定させるなど実験環境の見直し, 被験者数および計測回数の増加などを検討の上, 人によらないストレスの共通尺度を確立し, 障害物の影響を考慮した実験など種々の計測を行い, 照度が心拍変動に及ぼす影響をよりクリアにしていく予定である.

謝辞

本研究を進めるにあたり, 窪田忠和氏 (イトーヨーカドー) の協力を得た. ここに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) 谷下雅義, 窪田忠和, 浅田拓海, 小林宏光 : 照度が安静時歩行時の心拍変動に与える影響, 第44回土木計画学・講演集, I-②, P2, 2011.
- 6) 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, pp.47-53, 2009.

- 7) 浅田拓海, 石田眞二, 武田超, 鹿島茂 : 電車の駆動方式に起因したストレスの特性に関する研究, 環境アセスメント学会, 2011年度研究発表会要旨集/環境アセスメント学会, pp.61-66, 2011.
- 8) 井上博 : 循環器疾患と自律神経機能, 医学書院, 1996.
- 9) Langewitz W, Rüddel 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.
- 10) Grossman P, Kollai M. :Respiratory sinus arrhythmia, cardiac vagal tone, and respiration: Within- and between-individual relations, *Psychophysiology*, 30, pp.486-495, 1993.

(2012. 7. 20 受付)

IMPACT OF ILLUMINANCE ON HEART RATE VARIABILITY DURING REST AND WALKING

Takumi ASADA, and Masayoshi TANISHITA

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) between less than 3lx and more than 10lx. As a result, in rest conditions, there were not statistically significant differences between less than 3lx and more than 10lx. And It was found that favorable impression to illuminance is different with each person. About the walking conditions, the higher the illuminance becomes, the shorter recovery times while walking. It was shown clearly that stress of pedestrian also became large, so that difference of illuminance walking condition and rest condition was large.