

都市内緑環境の評価のための 心拍数の計測条件の検討

川上 桃子¹・谷下 雅義²

¹非会員 中央大学大学院 理工学研究科都市人間環境学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)
E-mail: milkyway_aries_9060@yahoo.co.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1-13-27)
E-mail: matanishita.45c@g.chuo-u.ac.jp

森林や都市の緑がもたらす生理学的効果の定量的な評価指標として心拍数が挙げられる。本研究では、心拍数が個人内・個人間で変動することを考慮した心拍数の計測条件について検討した。座位での安静時心拍数は朝と昼で相関がみられないこと、また都市内緑環境で歩行実験では、心拍数は歩行速度や起床時と実験前の安静時心拍数の差と関係があることを明らかにした。そして測定機器によるエラーを除去し、歩行時心拍数上昇率を指標とすることで、緑のリラックス効果の計測可能性を示した。

Key Words : Heart Rate, Resting Heart Rate, Urban Warking, Green Way, Stress Relief

1. はじめに

健康の増進や生活の質の向上、さらに予防医学の観点から緑がもたらすリラックス（ストレス緩和）効果が注目され、「森林セラピー」や、都市部にある緑地・緑道などの「身近な緑」の評価などさまざまな研究や取り組みが進められている¹⁾。

森林や都市の緑がもたらす生理学的効果に関する実験は数多く行われ、その効果を定量的に把握するための一つのデータとして心拍数が用いられてきた。例えば、宮崎らは、男子大学生18名を被験者として都市部と森林部で計測した心拍データや主観調査から森林セラピーのリラックス効果を明らかにしている²⁾³⁾。Lankiらは、ヘルシンキ近郊に住む30歳から60歳の女性36名を対象に、都市森林・都市公園・市街地における心拍数と心拍変動の変化を比較している⁴⁾。これらの研究の多くは、安静時心拍数（RHR: Resting Heart Rate）との単純な差が評価指標として用いられてきた。

しかし、その日のコンディションなどにより、安静時心拍数は同一の個人でも日々変動する⁵⁾。さらに性別、身体的特徴、遺伝、日々のトレーニングの有無等の要因により同じ環境に対する反応に個人間でばらつきが生じることが知られている⁶⁾が、こうした個人内また個人間の安静時心拍数や活動時の変動については十分考慮されてない（誤差として取り扱われている）。

また、歩行空間の緑の量に注目してリラックス効果を検証した研究はこれまでにほとんど行われていない。緑の量とリラックス効果の関係が明らかになれば、限られ

た空間や予算の中で効果的に都市環境の快適性を向上することにつながる。

そこで本研究では、以下の2つのことを明らかにすることを目的とする。まず安静時心拍数の個人内・個人間の変動について調べる。具体的には、大学生3名を被験者として、起床時の臥位および朝と昼の座位において安静時心拍数はどの程度変動し、これらの間に相関がみられるかを分析する。その結果を踏まえて次に大学生11名を被験者として緑の断面割合の異なる歩道において歩行実験を行い、心拍数を測定する。測定したデータのばらつきの特徴とその発生要因を明らかにする。これらを通じて歩行時の心拍数から空間の快適さを明確に評価するために考慮すべき測定条件を検討する。

2. 方法

本研究は安静時心拍数の測定と、都市内緑環境における歩行実験から構成されている。

(1) 安静時心拍数の計測

個人の安静時心拍数の日による変動と、安静時心拍数の個人差について調べることを目的とする。腕時計型心拍計測器 M430（Polar社製）で心拍数を測定した。起床後すぐの臥位、起床後の座位、昼食前の座位の3種類の状態で、それぞれ5分間安静にして心拍数を測定し、平均値を安静時心拍数として定義する。

(2) 都市内緑環境での歩行実験

緑の断面積以外の環境の条件をコントロールした調査地点を選び、心拍数を測定する歩行実験を行う。本研究では東京都千代田区の神田川沿いの、平行した4つの通りを選んだ(図-1)。各ルートは片道150mで、実験を行った平日午前中の人通りはまばらである。緑の断面積は多い順に70%、55%、30%、0%である。なお、実験を11月から12月にかけてに実施したため、特に調査地点②において紅葉や落葉が多かった点に注意が必要である。

被験者は、実験を開始する前に安静時心拍数を測定した後、調査地点まで徒歩約20分の距離を歩いて移動する。約10分の休憩後、各調査地点を自然な速度で2往復する。歩行時の視線や歩速について指示は出さなかった。歩行と歩行の間には毎回休憩をはさみ、4つの地点を順番に歩く。この際、実験の心理的ストレスや疲労による影響を検討するために歩く順番は被験者ごとにランダムに設定した。歩行中および休憩中は、腕時計型心拍計測器を用いて心拍数を測定する。それぞれの調査地点で測定したのデータを安静時心拍数や最大心拍数によって標準化し、整理する。

個々人のデータをそれぞれ検討することで、結果がばらつく要因や心拍数の計測条件を明らかにする。また、実験中の心拍数と事前に測定した安静時心拍数を組み合わせた指標を用いて、個人内・個人間の変動を考慮した上で都市内の緑環境のリラックス効果およびストレス抑制効果を評価し、緑の量によってこの効果の程度が変化することを検証する。

3. データ

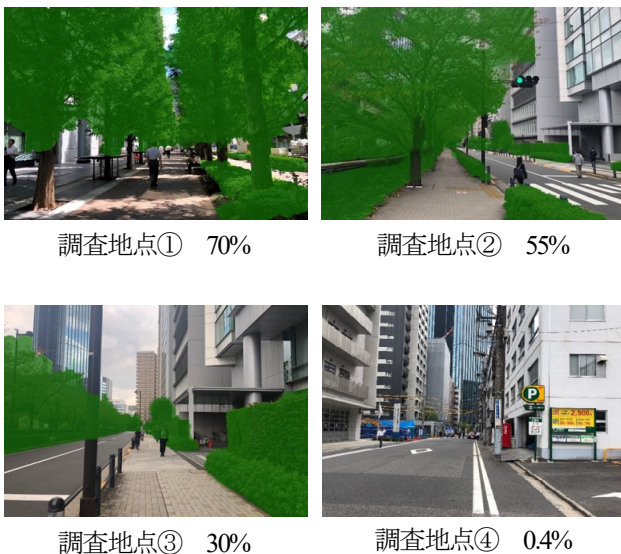


図-1 調査地点の様子と緑の断面積
(緑のある部分を着色している)

(1) 安静時心拍数の計測

被験者は男子大学生2名と女子大学生1名の計3名である。90bpmを超える場合や起床時臥位が起床時座位よりも大きくなった場合は、安静時心拍数の測定が正しく行われていないと判断してデータを除外した。

(2) 都市内緑環境での歩行実験

被験者は男子大学生7名と女子大学生4名で、のべ17名(男性11名、女性6名)の協力を得た。歩行実験を開始する前と実験当日の起床直後に、安静時心拍数を測定した。歩行時は、休憩時間も含めて心拍数(HR)を測定し続けた。測定機器には被験者が起床時に安静時心拍数を計測した装置と同じ装置を用いた。食事による影響を受けないよう、朝食3時間程度間隔をあけて実験を行った。

同時に心拍計の位置情報から計算された歩行速度のデータも記録した。

4. 結果

(1) 安静時心拍数の計測

各被験者の安静時心拍数の分布は図-2のようになった。安静時心拍数は、起床時臥位<起床時座位≤昼食前座位の傾向を示す傾向にある(表-1)。また、複数の被験者の安静時心拍数を比べると、値の平均値には個人間で変動がある(表1)。昼食前の安静時心拍数は、起床時の安静時心拍数よりも変動が大きい。起床時座位の安静時心拍数は起床時臥位と強い相関があるが、昼食前座位とは弱い相関しかみられない(図-3, 4)。

起床時座位安静時心拍数を基準として昼食前と起床時の差をみると、差の正負は朝の値によらないことがわかる。昼に測定する安静時心拍数は、起きてからの活動の影響を強く受けていると考えられる。

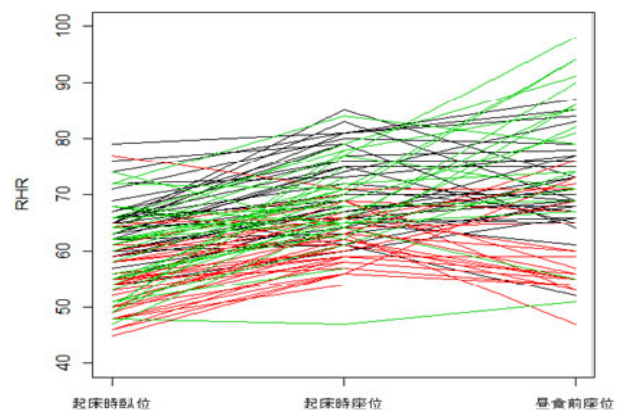


図-2 被験者ごとの安静時心拍数
(左から起床時臥位, 起床時座位, 昼食前座位)

表-1 被験者ごとの平均値・変動係数

id	起床時臥位			起床時座位			昼食前座位		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
平均値	63	54	59	71	62	69	72	59	78
変動係数	0.08	0.10	0.14	0.09	0.07	0.10	0.09	0.13	0.16

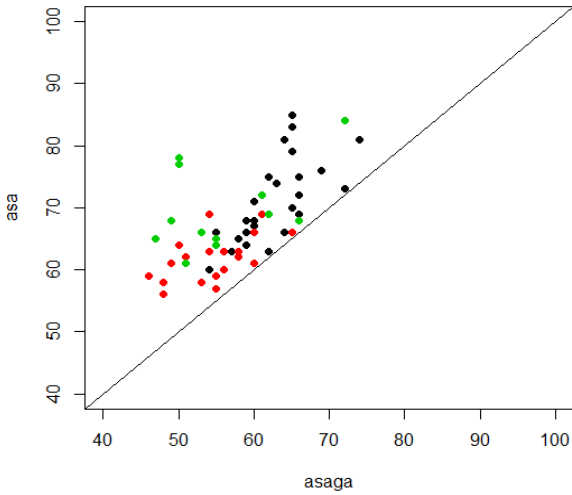


図-3 起床時臥位と起床時座位の安静時心拍数

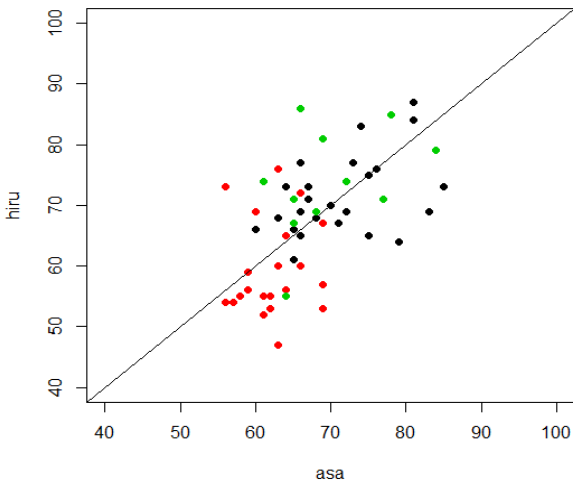


図-4 起床時座位と昼食前座位の安静時心拍数

2) 都市内緑環境での歩行実験

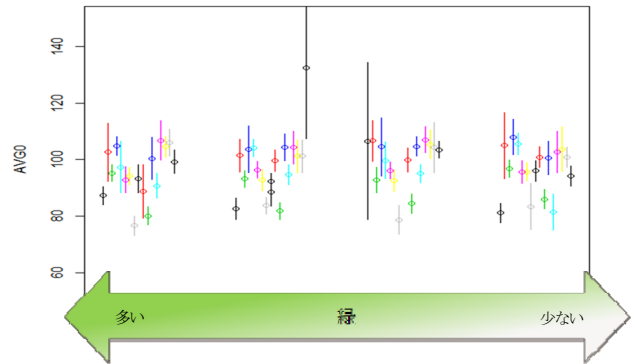
a) 各被験者の平均心拍数

17名の被験者の地点別平均歩行時心拍数は図-5のようになった。値のバラつきが大きく、調査地点ごとの平均心拍数には有意差がみられなかった。

被験者ひとりひとりのデータを丁寧に見ていくと、心拍数が以上に高いデータや、安静時心拍数を下回るデータ等があることが分かった。また、ばらつきの変動幅にも個人差があった。変動がどのような要因で発生するのかを調査し、心拍数の測定条件について検討した。

b) 歩行時心拍数の変動要因

各被験者の歩行時心拍数の推移を見ると、データの欠損や、極端に高くなるデータがあることがわかった。こ



れらは測定機器のエラーのためと考えられるので除去す

図-5 17名の地点別歩行時平均心拍数

るべきだと考えられる。また、多くの被験者が測定開始後約1分間のデータのバラつきが大きかった。このバラつきは、緑が被験者に与える心理的要因以外の影響であると考えられる。データがばらつく区間は除外するのが妥当だと考えられる。測定終盤に近づくにつれて心拍数が上昇していく被験者もいた。疲労などのバイアスが予想されるため、今後実験モデルの改善が必要だと考えられる。

c) 歩行時心拍数と心拍数の関係

図-6は、2名の被験者の歩行速度と心拍数の関係を表している。歩行速度にはばらつきがあり、歩くのが早くなると心拍数が上昇傾向にあることが分かった。被験者の歩行速度分布を個別にみると、3~6(km/h)の区間で心拍数が安定している幅2(km/h)程度の区間が存在していた。歩行速度が心拍数に与える影響と、測定機器のエラーを取り除くためには、この区間のデータを抽出すればよいと考えられる。

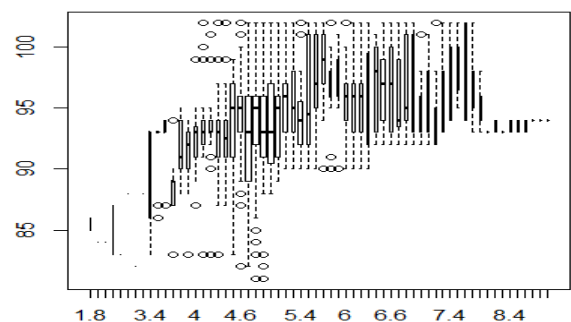
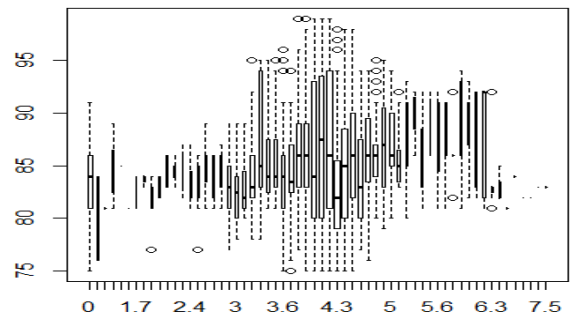


図6 歩行速度と心拍数の関係

表-2 各被験者の安静時心拍数

	起床時 (臥位) 安静時心	起床時 (座位) 安静時心	実験前 安静時心 心数	安静時心拍数		
				1回目	2回目	3回目
1	85	86	72	73	71	-
2	-	71	87	80	72	89
3	55	74	89	81	75	89
4	88	71	72	78	87	78
5	82	76	81	88	80	81
6	57	83	88	78	77	72
7		76	78			
8	81	72	74	83	77	71
9	-	96	73	71	70	71
10	83	81	75	84	70	72
11	73	87	81		73	84
12	54	83	78	75	84	71
13	84	78	91	80	85	78
14	58	74	78	75	78	78
15	89	86	71	88	80	72
16	81	71	75	80	85	79
17	81	83	79	83	-	77

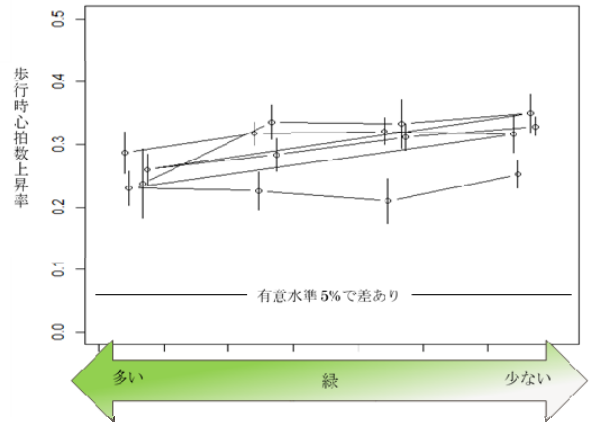


図-8 エラーの少ない4名の被験者の地点別歩行時心拍数上昇率

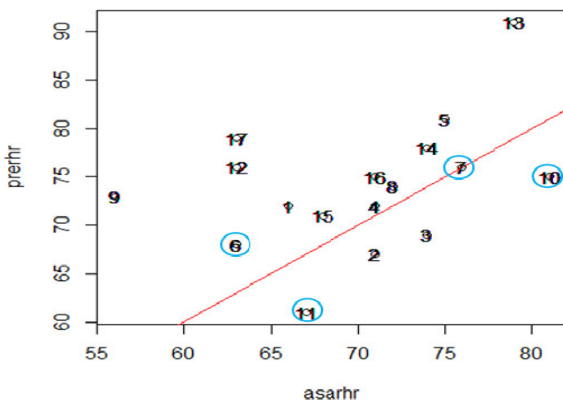


図-7 起床時と実験前の安静時心拍数の関係

(数字は被験者の番号を示す。緑が多いほど心拍数が低い人を○印で示した)

d) 安静時心拍数

各被験者の起床時、実験前、および実験と実験の間の休憩時の安静時心拍数を表-2に示す。また図-7は起床時座位と実験前座位の安静時心拍数の関係を表している。歩行時心拍数との関係を調べると、起床時と実験前で安静時心拍数の差が小さい被験者の方が、歩行時の心拍数のばらつきが少なくなる傾向がみられることがわかった。しかしながら、差が小さくても歩行時の心拍数が大きく変動する被験者もあり、実験の歩行順や騒音、人とのすれ違いなどの他の要因が影響している可能性がある。

e) 緑の断面積と歩行時心拍数の関係

以上の結果をもとに明らかにエラーであるデータを除外した。そして、歩行時の心拍数と実験前の安静時心拍数の差を、比較的安定した値をとる起床時座位の安静時心拍数と、年齢によって決定する最大心拍数(=208-年齢*8)の差で割り、対数をとった値を心拍数の上昇率とした。刺激に対する心理的な感覚量は、刺激の強度ではなくその対数に比例することを根拠に以下のように指標を定めた。

$$(\text{歩行時心拍数上昇率}) = \frac{\log(\text{歩行時心拍数} / \text{最大心拍数})}{\log(\text{安静時心拍数} / \text{最大心拍数})} \quad (1)$$

図-8はエラーデータの少ない4名の歩行時心拍数上昇率を示している。調査地点①と④では有意差5%で差があった。3名の被験者は緑が多いほど歩行時心拍数上昇率が抑制され、都市内緑環境にストレス抑制効果があることが示唆される結果となった。しかしながら、緑の量と相関がみられない被験者も存在することがわかった。

5. おわりに

以上、本研究では安静時心拍数の変動要因と、歩行実験における心拍数の指標を明確に評価するために考慮すべき測定条件の検討を行った。安静時心拍数には、「起床時臥位<起床時座位≦昼食前座位」の関係があり、座位では起床時と昼食時には相関はみられなかった。また歩行時の心拍数は、歩行速度や、起床時と実験前の安静時心拍数の差と関係があることがわかった。測定機器によるエラーも少なからず存在する。心拍数を用いて空間の評価を試みる場合、安静時心拍数に加えて、歩行速度が一定になるようにコントロールして実験を行うことが重要である。そして歩行時心拍数上昇率を指標とすることで、緑の断面割合によるリラックス効果に違いを検証できる可能性を示した。

今後の課題は以下のとおりである。まず、安静時心拍数の個人内の値の変動は、前日の睡眠時間や睡眠の質、さらには被験者の心理状態に大きく左右されると考えられる。これらの要因と安静時心拍数の関係を分析して、生理指標としての確実性を高めるべきである。また、歩行実験についてもサンプル数を増やしてさらに詳細な分析を行う必要がある。心拍数だけでなく他の生理指標や空間の情報と組み合わせた指標を検討し、より明確で確実な検証を可能にする必要がある。

謝辞：17名の方に実験の協力をいただきました。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 浅田拓海・谷下雅義 (2015)「個人内・個人間変動を考慮した都市内緑環境における心拍特性分析」土木計画学研究・講演集, 51, CD-ROM.
- 2) 松葉 直也・李 宙宮・朴 範鎮・李 旻宣・宋 チョロン・宮崎 良文(2011)「大規模都市緑地における歩行がもたらす生理的影響：新宿御苑における実験」, 日本生理人類学会誌, 16 (3), 133-139.
- 3) 池井晴美・宋チヨロン・香川隆英・宮崎良文(2014)「日帰り型森林セラピーがもたらす生理的・心理的リラクセス効果 ―座観時における検討―」日本衛生学雑誌, 69(2), 104-110.
- 4) Timo Lanki, Taina Siponena, Ann Ojalac, Kalevi Korpelad, Arto Pennanena, Pekka Tiittanena, Yuko Tsunetsugue, Takahide Kagawae, Liisa Tyrväinenc (2017) “Acute effects of visits to urban green environments on cardiovascular physiology in women: A field experiment,” *Environmental Research*, 159, 176-185.
- 5) Smith, W. : Cellular phone positioning and travel times estimates, *Proc. of 8th ITS World Congress*, CD-ROM, 2000.
- 6) 谷下雅義(2018)「安静時心拍数の変動分析」第 53 回土木計画学研究講演集, CD-ROM, 2018
- 7) Hirofumi Tanaka, Kevin D. Monahan, Douglas R. Seals (2001) ” Age-predicted maximal heart rate re-visited” , *Journal of the American College of Cardi-ology*, 37(1), 153-156.

(2019.*.*受付)

INVESTIGATION OF HEART RATE MEASUREMENT CONDITIONS FOR EVALUATION OF ENVIRONMENTAL BENEFITS OF URBAN GREEN SPACE

Momoko KAWAKAMI and Masayoshi TANISHITA

Heart rate is known as a quantitative evaluation index of green physiological effect. However, differences of intraindividual and individual variation are not considered for the analysis. In this paper, we measured resting heart rates in lying and sitting position and examined the measurement condition of heart rate. There was no correlation of resting heart rate in the sitting position between morning and noon, and the heart rates during walking were related to walking speed and resting heart rate. We showed the possibility of measuring the green relaxation effect by eliminating measuring equipment errors and using the rate of increase of heart rate during walking as an indicator.