

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

浅田 拓海¹・谷下 雅義²

¹正会員 室蘭工業大学助教 大学院工学研究科 (〒050-8585 北海道室蘭市水元町27-1)
E-mail: asada@mmm.muroran-it.ac.jp

²正会員 中央大学教授 理工学部都市環境学科 (〒112-8581 東京都文京区春日1丁目13-27)
E-mail: tanishi@civil.chuo-u.ac.jp

近年、森林浴によるストレス抑制効果が注目されており、心拍数などの生体反応計測による実証研究が活発に行われている。本研究では、都市内における緑環境に着目し、生体反応の個人内・個人間変動を考慮した上で、安静時および歩行時の心拍数の抑制効果を明らかにした。まず、安静時の心拍間隔RRIを計測したところ、緑環境では非緑環境よりも大きくなるものの、計測の度に250ms程度ばらつくことがわかった。このようなRRIの個人内変動を考慮し、安静時から歩行時のRRIの低下量を求めたところ、緑環境の方が大きくなったのは被験者12名中9名であった。これらの結果より、都市内の緑環境を歩くことによるストレス抑制効果の発現率が7割を超える可能性が示された。

Key Words : Heart Rate, Intra- and Inter- Individual Variation, Urban Waking, Green Way, Stress Relief

1. はじめに

都市化およびそれに伴う都市部への人口流入の拡大は、生活の快適性や経済力の向上をもたらしたが、その一方で、人と自然との物理的・精神的・時間的な距離は広まるばかりである。現代社会は、「ストレス社会」と言われており、時間と費用をかけて自然から得られる「やすらぎ」や「くつろぎ」を求める人々も多い。

都市生活がもたらす生活習慣やストレスは、多くの疾病の原因になっているとの報告があり¹⁾、近年では、健康や生活の質(QOL)、さらには予防医学の観点から、植生の緑がもたらすリラックス効果やストレス緩和効果が着目され、さまざまな取り組みや商品開発などが進められている。しかしながら、このような植生による効果が生理学的にどのように現れるのかについては、十分な知見が蓄積されていない。

植生の生理学的な効果に関する研究としては、宮崎らの一連の研究がある。これらの研究では、都市部と森林部において計測した種々の生体反応データをもとに、森林セラピーによるリラックス効果を検証している^{2,3,4)}。また、森林浴のリハビリ効果を明らかにした武田・近藤の研究⁵⁾、森林植物園ウォーキングがストレスを軽減させることを示した三井の研究⁶⁾、森林における歩行後の心拍変動について検討した鈴木の研究⁷⁾、森林浴が生体免疫機能を高めることを明らかにした李の研究⁸⁾などが

ある。このように、自然環境にある植生がもたらす生理学的効果については、多くの実験を通して、エビデンスの蓄積が進められている^{9,10)}。

一方、都市部にある緑道や緑地などのいわゆる「緑環境」は、ヒートアイランド現象の緩和や景観の向上に加え、「身近にある森林」としてストレス緩和効果やヒーリング効果も期待されているが、その効果について検討した研究は少ない。黒子・藤井は、脳波および心拍計測結果をもとに、人工的な空間よりも植物空間の方が騒音暴露によるストレスからの回復効果が高いことを明らかにしている¹¹⁾。また、宮崎らは、歩行空間としての評価を行うために、歩行時の心拍計測データから、新宿御苑は駅周辺よりも同じ負荷量の歩行でも心拍数の増加が抑制され、都市部における緑環境での歩行がリラックス効果をもたらす可能性を示している¹²⁾。

ところで、生理学的な指標に関しては、唾液中コルチゾール、アミラーゼ、心拍、脳波などのさまざまな生体反応データがストレスの評価などに用いられている。それらの中でも特に心拍は、多様な外的要因に左右されやすい反面、計測機器が簡易で安価なこと、装置を装着していることの影響が小さいこと、フィールドでのリアルタイム計測が可能なこと、統計学的な処理が容易であること、などの多くのメリットがあることから多くの研究で採用されている。人間工学に関する国際規格では、生

体信号では「心拍変動」が取り上げられている¹³⁾こともあり、心拍データの利用は今後の主流となると思われる。

ただし、心拍をはじめとする生体反応に影響する因子はさまざまなものがある(図-1)ことから、生理的評価を行う場合には、検討すべき点がいくつかある。例えば、人の混雑などは時間・場所によって大きく変動することから、ある空間の生理学的効果を抽出する場合には、混雑や他の空間特性による影響を制御・統一して実験を行うことが望ましい。一方、生体反応はその時々、精神的、肉体的状態(以下、コンディション)によって変動することから、このような個人内変動¹⁴⁾を十分に考慮した上で実験、分析を行う必要がある¹⁵⁾¹⁶⁾。心拍に関しては、安静時に計測した値を基準として、各タスク時の心拍がどのように変化したのかを見るケースが多い¹⁷⁾¹⁹⁾。さらに、個人差、すなわち個人間変動も大きいことから、どの程度の人数割合で効果が発現するのか、さらには、その属性差を明らかにすることが重要である。このような心拍変動の個人内変動や個人間変動を考慮した研究はいくつか報告されているが、都市内の緑環境における安静時や歩行時の心拍抑制効果について検討した事例は少ない。

そこで、本研究では、都市内の緑環境および非緑環境において心拍数の反復計測および多人数計測を行い、個人内・個人間変動を考慮した心拍指標を用いて、都市内緑環境での安静・歩行による心拍抑制効果およびその発現率を明らかにする。具体的には、以下のような3つの実験を行った。まず、実験1(第2章)では、安静時の反復計測を行い、心拍の個人内変動がどの程度あるのかを確認した。実験2(第3章)では、安静時→歩行時の心拍計測を反復して行い、個人内変動を考慮した歩行時の心拍指標について検討した。実験3(第4章)では、多人数の被験者を対象に安静時→歩行時の心拍計測を行い、都市内緑環境での歩行による心拍抑制効果の発現率(被験者割合)、およびその性差について検討した。

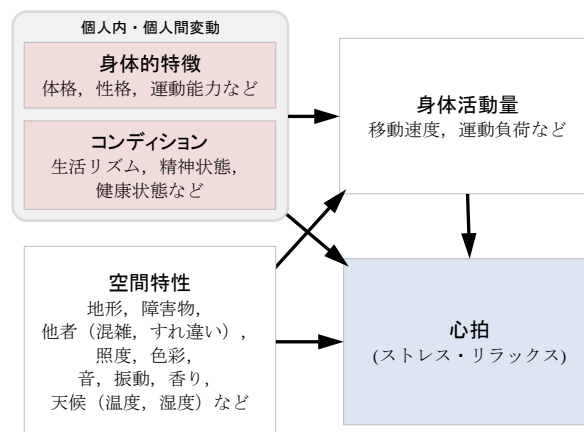


図-1 心拍の要因



写真-1 実験空間の風景(実験1および実験2)

2. 安静時心拍の個人内変動(実験1)

(1) 実験概要

本実験では、東京都文京区の六義園内の緑道および東京ドームシティ構内を、それぞれ「緑環境」および「非緑環境」として選定した(写真-1)。六義園は、文化財保護法に基づいて特別名勝に指定され、マツ、モミジ、ケヤキなどの高木、低木や芝の緑が豊富な回遊式庭園であり、ウォーキングなどの運動目的での利用も多い公園として知られている。

両環境において、座位安静の状態で、「閉眼5分」、

「開眼5分」、 「閉眼5分」の順で各タスク合計15分間の計測を行なった。計測には、ランニング等用の腕時計型心拍計測器RS800CX(Polar社製)を使用し、専用ソフトウェアを用いて心拍間隔(RRI)データを取得した。

RRI(R-R Interval)とは、心電図に見られるR波とR波の時間間隔であり、心拍数(拍/分)の逆数として用いることができる。RRIデータには、稀に欠損値や著大値が発生するため、本研究では、この影響を考慮して、各タスクの時間内におけるRRIの中央値²⁰⁾(以下、RRI_m)を分析に用いることとした。

被験者は、男子学生1名（被験者A）とし、緑環境、非緑環境のそれぞれにおいて15回の反復計測を行なった。なお、飲食は、計測の1時間以上前に済ますように指示した。また、人の混雑による影響を考慮して、人が歩いていない状況において計測を行うように心掛けた。

(2) 結果

緑環境および非緑環境における開眼、閉眼時のRRIMを図-2に示す。まず、RRIMの変動に着目すると、同じタスクでも、計測の度に100~200ms程度変動することがわかる。これは、被験者の披露や気分などのような肉体的、精神的なコンディションによるものと考えられる。このようにRRIMは個人内で大きくばらつくことから、計測した15回分のデータを用いて緑環境と非緑環境のRRIMの平均値についてt検定を行なった。その結果、非緑環境では、RRIMは、閉眼から開眼では減少し、その後の開眼から閉眼では増加する傾向にあるが、これらの差に有意性は見られなかった。一方、緑環境に関しては、閉眼から開眼では有意な差はないが、開眼から閉眼では減少し、その差は危険率5%で有意となった。次に、環境による比較をすると、3つのタスクにおいて、RRIMは、非緑環境よりも緑環境の方が有意に大きくなった。以上のことから、被験者Aにおいては、緑環境では、非緑環境よりも安静時心拍数が抑制されることが確認され、同時に、被験者のコンディションによりRRIMが計測毎に大きく変化することが示された。

3. 歩行時の心拍抑制指標（実験2）

第2章（実験1）では、実験環境が同じでも、個人その時のコンディションにより、RRIMは大きく変動することがわかった。それを踏まえた上で、本章では、緑環境での歩行による心拍抑制効果について検討する。

(1) 実験概要

実験1と同様に六義園（図-2）において、「安静10分」、「歩行10分」の順で合計20分間のRRIM計測を、緑環境および非緑環境のそれぞれにおいて行なった。被験者は、男子学生3名（被験者B、C、D）であり、緑環境および非緑環境において、被験者B、Cは各15回、被験者Dは各20回の反復計測を行なった。歩行速度に関しては、運動負荷の統一や違和感の発生を抑えるために、自由速度（事前計測により全被験者で約4km/hであることがわかっている）での歩行とした。その他実験条件、計測機材等は実験1と同様である。

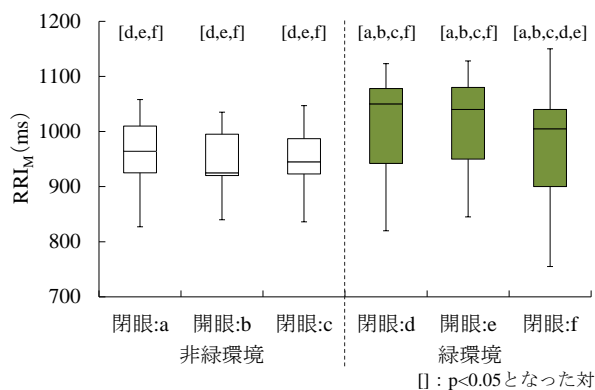


図-3 緑環境と非緑環境における RRI

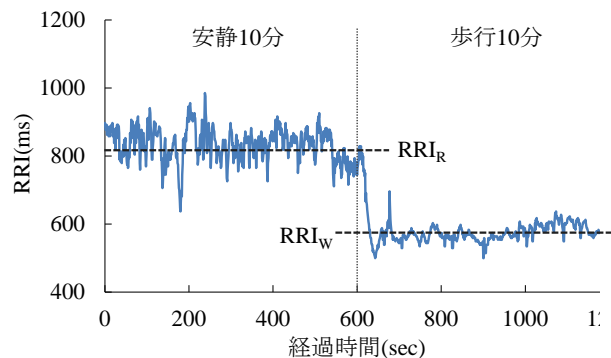


図-4 安静時と歩行時の RRI（一例）

(2) 結果

計測データの一例を図-4に示す。RRIは、安静時と歩行時では異なり、歩行開始直後から大きく低下することがわかる。図-3で示したように、安静時のRRIM（以下、RRIR）は、同じ実験条件でも計測時の被験者のコンディションによって変動することから、歩行時のRRIM（以下、RRIW）をそのまま評価に用いることは妥当ではない。

RRIWは、RRIRと同様に計測時のコンディションに起因すると考えられる。これを確認するため、RRIWとRRIRの関係を求めた。一例として被験者Dの結果を図-5に示す。RRIWとRRIRは、非緑環境では若干バラツキはあるものの、両空間ともにR²は0.5以上を示した。次に、安静時から歩行時のRRIMの低下量（以下、歩行時RRI低下量）とRRIRの関係を求めたところ、図-6に示すように、図-5の場合よりも明確な関係が見られた。また、非緑環境と緑環境の回帰直線を比較すると、同じRRIRでも、緑環境の方が歩行時よりも小さくなることからわかる。これは、計測時の被験者のコンディションによらず、緑環境では、非緑環境よりも安静時から歩行時へのRRIの低下量が小さく、同じ歩行でも心拍数の増加が抑制されることを意味する。

以上を踏まえ、本研究では、計測時の被験者のコン

ディションのような個人内変動に影響されない指標として、以下の式(1)から求まる歩行時RRI低下量を分析に用いることとした。

$$\text{歩行時RRI低下量} = \text{RRI}_R - \text{RRI}_W \quad (1)$$

各被験者の歩行時RRI低下量をそれぞれ図-7に示す。全被験者において、歩行時RRI低下量は、非緑環境よりも緑環境の方が有意（危険率5%）に小さくなった。したがって、本実験の被験者3名においては、非緑環境よりも緑環境の方が歩行時の心拍数増加（RRI低下）が抑制されると言える。

4. 都市内緑環境での歩行による心拍抑制効果

第3章（実験2）では、歩行時の心拍抑制効果を評価するためには、歩行前安静時との差分（歩行時RRI低下量）を用いることが有効であることを示した。これは被験者のコンディションによらない指標であるため、実験1や2のような反復計測は必要としない。そこで、本章では、一人当たりの計測回数よりも被験者数を重視し、緑環境での歩行による心拍抑制効果の発現率について検討する。

(1) 実験概要

本実験では、緑環境を非緑環境（東京ドームシティ構内）に近接する後楽緑道（図-8）に変更した。後楽緑道は、六義園と同様に特別名勝として指定されている小石川後楽園に隣接した歩行空間であり、緑豊かな景観や利用者の快適性と利便性に配慮した歩行者専用の緑道である。両環境の中間地点（共通地点）で安静時の計測を行い、その後、緑環境または非緑環境に向かい、歩行時の計測を行った。

被験者数は、男子学生5名（男性A, B, C, D, E）、女子学生4名（女性A, B, C, D）の計9名であり、被験者ごとに、「共通地点での安静5分→緑化環境での歩行5分」と「共通地点での安静5分→非緑化環境での歩行5分」の計測をそれぞれ2回行った。刺激順による影響を考慮し、1回目と2回目では、緑化環境と非緑化環境の順序を入れ替えた。その他実験条件は、実験2と同様である。

(2) 結果

全被験者の安静時のRRI_M（RRI_R）を図-9に示す。女性A, Bに関しては、2回目の計測データに異常値が見られたため分析から除外した。男性Aについては、図中に

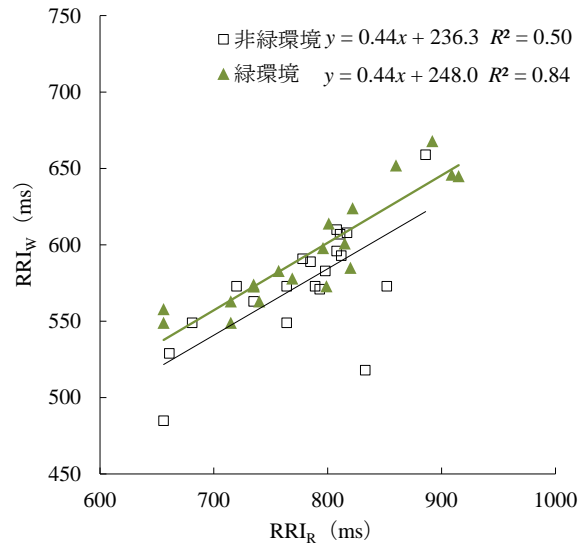


図-5 RRI_RとRRI_Wの関係（被験者D）

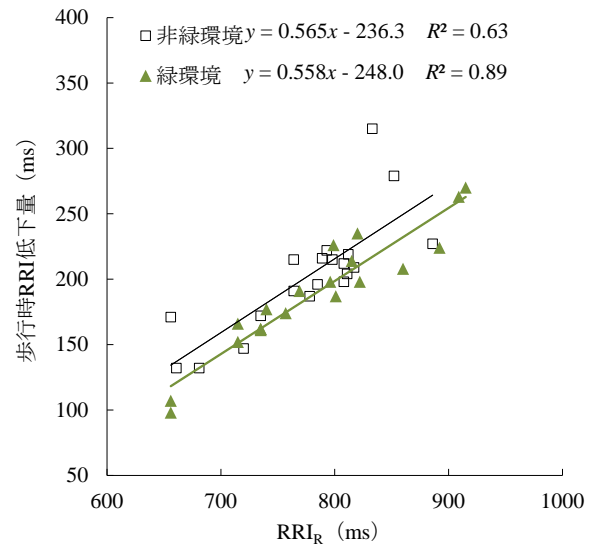


図-6 RRI_Rと歩行時RRI低下量の関係（被験者D）

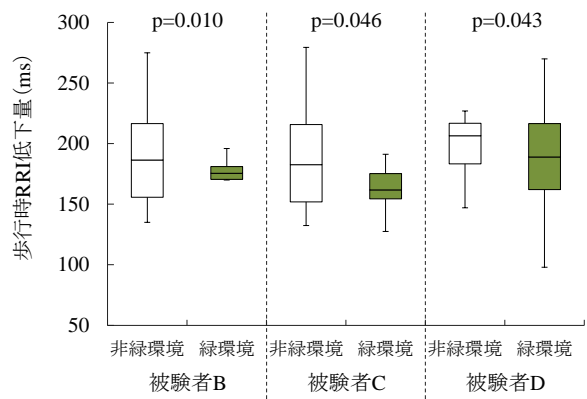


図-7 緑環境と非緑環境における歩行時RRI低下量



図-8 実験3における緑環境

示すように、RRIMが大きく異なる場合があるが、それ以外の被験者では標準偏差は約30ms以下となった。このような個人内での変動があると同時に、個人間での違いも見られ、おおよそ200ms程度の差があることがわかる。したがって、個人間での比較を行う場合は、個人内変動だけでなく、式(2)に示すような、歩行時RRI低下量 (RRIR-RRIW) をRRIRで除した値 (以下、歩行時RRI低下率) を用いることが望ましい。

$$\text{歩行時RRI低下率} = \frac{(\text{RRIR} - \text{RRIW})}{\text{RRIR}} \quad (2)$$

緑環境と非緑環境の歩行時RRI低下率を図-10に示す。ほとんどの被験者において、歩行時RRI低下率は、非緑環境よりも緑環境の方が小さいことがわかる。また、両環境について対標本として検定を行ったところ、危険率5%で有意差が見られた(図-10)。したがって、非緑環境よりも緑環境の方が歩行時における心拍数増加が抑制されることが示された。女性Aや男性B、Eは、逆の傾向を示すが、それ以外の6名では、2回とも緑環境で歩行時RRI低下率が小さくなった。特に、男性Aや女性B、Cは、両環境の差が大きいことから、効果が大きく現れると思われる。

次に、性差について検討した。男性と女性の歩行時RRI低下率を図-11に示す。男性では両環境で明確な差は見られないが、女性では非緑環境よりも緑環境の方が小さくなった(危険率5%)。したがって、サンプル数は少ないものの、男性よりも女性の方が、緑環境における歩行時の心拍数抑制効果が大きくなることが示唆された。今後は、被験者数を増やして、このような性差や年齢差などを詳細に分析した上で、属性と効果発現率の関係について検討したい。

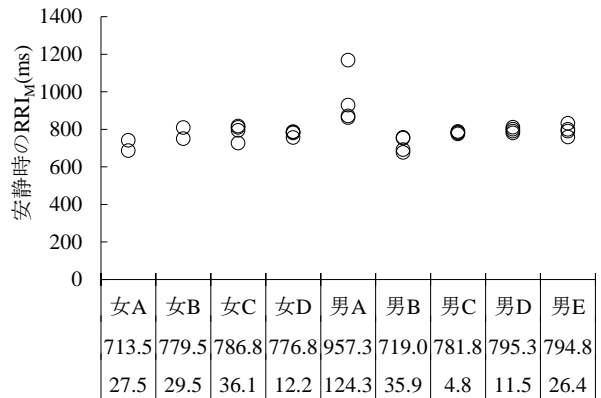


図-9 全被験者の安静時のRRIM

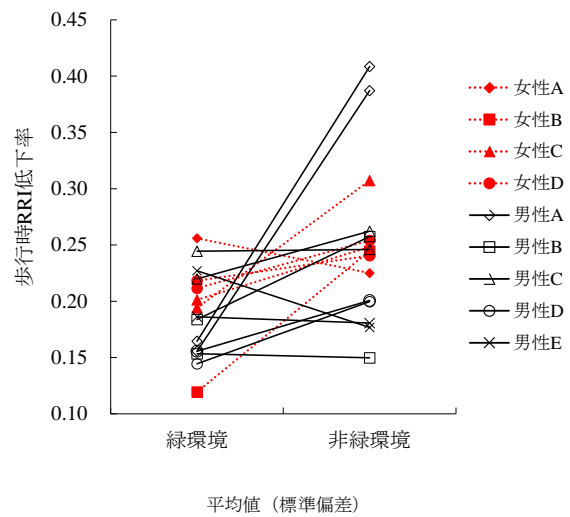


図-10 全被験者の歩行時RRI低下率

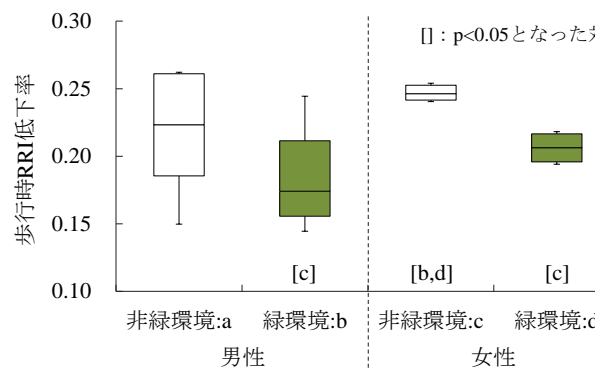


図-11 男性と女性の歩行時RRI低下率

5. 結論

本研究では、緑環境および非緑環境において心拍数の反復計測および多人数計測を行い、個人内・個人間変動を考慮した心拍指標により、緑環境での安静・歩

行による心拍抑制効果について明らかにした。得られた結論を以下に示す。

- 実験1では、緑環境および非緑環境において安静時心拍数の反復計測を行なった。その結果、被験者のコンディションによって計測毎にRRIM (5分間の中央値) が大きく変動することがわかった。それを踏まえて、t検定を行ったところ、緑環境と非緑環境でRRIMに有意な差が見られ、緑環境の方が安静時の心拍が抑制されることが確認された。
- 実験2では、「安静→歩行」の計測を反復して行なった。実験1と同様に、安静時のRRIM (RRIr) は計測の度にばらついたが、歩行時のRRIM (RRIW) と強い相関があることがわかった。そこで、両者の関係を基に、歩行時RRI低下量 (RRIr - RRIW) を定義し、それを用いて分析を行なった。その結果、全被験者 (3名) において、緑環境では、非緑環境よりも歩行時RRI低下量が小さくなり、歩行時の心拍数増加が低減することが示された。
- 実験3では、被験者を増やして実験2と同様の実験を行なった。個人によって、心拍が大きく異なることを確認した上で、これを考慮した指標として、歩行時RRI低下率 (歩行時RRI低下量をRRIrで除した値) を定義した。その結果、緑環境での歩行による心拍抑制効果が見られたのは、9名中6名 (実験2を合わせると12名中9名) であった。また、男女での比較を行ったところ、男性よりも女性の方がその効果が強く表れることが示唆された。

今後の課題を以下に示す。本研究では、生理的な反応以外での個人特性 (性別、年齢、生まれ育った環境や嗜好性など) については検討ができていない。また、言うまでもなくRRIには下限値 (心拍数では200bpm程度が上限) が存在することから、これを考慮した指標の検討も必要である。このような内的要因や生態的要因を考慮した上で、より多くの被験者に対して実験を行い、都市内緑環境での休息および歩行による心拍抑制効果のエビデンスを強化したい。さらに、RRIの時系列データから得られる心拍変動特性 (副交感神経活動を表すHFや交感神経活動を表すLF) や、唾液中コルチゾール、アミラーゼ、脳波等のさまざまな生理学的指標を合わせて、「全身的協関²⁰⁾」の観点による歩行空間におけるストレス原因の解明および緩和効果の検証も重要と考える。

参考文献

- 1) Murray CJL, Lopez AD: Evidence-based health policy-Lessons from the Global Burden of Disease Study, Science, Vol.274, pp.740-743, 1996.
- 2) 朴範眞, 平野秀樹, 香川隆英, 宮崎良文: 森林セラピーの

生理的効果—全国24箇所の森林セラピー実験から—, 日本衛生学会誌, Vol.62, No.2, pp.277-280, 2007.

- 3) Bun Jin Park, Yuko Tsunetsugu, Tamami Kasetani, Takahide Kagawa, Yoshihumi Miyazaki: he physiological effect of Shinrin-yoku (taking in the forest atmosphere or forest bathing):evidence from field experiments in 24 forests across Japan, Environ Health Prev Med, Vol.15, No.1, pp.18-26, 2010.
- 4) 李宙宮, 朴範眞, 恒次祐子, 香川隆英, 宮崎良文: 森林セラピーの生理的リラックス効果—4 箇所でのフィールド実験の結果—, 日衛誌, Vol.66, pp.663-669, 2011.
- 5) 武田淳史, 近藤照彦: 森林浴の健康増進効果, リハビリテーションスポーツ, Vol.28, No.1, pp.30-35, 2009.
- 6) 鈴木茂廣: 森林環境下における歩行運動後の心拍変動, 名城大学人文紀要, Vol.44, No.2, pp.1-9, 2008.
- 7) 李卿: 森林浴が生体免疫機能を高める, 日本衛生学雑誌, Vol.62, No.2, pp.284-287, 2007
- 8) Tsunetsugu Y, Park BJ, Miyazaki Y: Trends in research related to “Shinrin-yoku” (taking in the forest atmosphere or forest bathing) in Japan, Environ Health Prev Med, Vol.15, No.1, pp.27-37, 2010.
- 9) Park BJ, Tsunetsugu T, Kasetani T, Kagawa T, Miyazaki Y: The physiological effects of “Shinrin-yoku” (taking in the forest atmosphere or forest bathing): evidence from field experiments in 24 forests across Japan, Environ Health Prev Med, Vol.15, No.1, pp.18-26, 2010.
- 10) 黒子典彦, 藤井英二郎: 脳波・心拍反応及び主観評価からみた緑地の騒音ストレス回復効果に関する実験的研究, ランドスケープ研究, 日本造園学会誌, Vol.65, No.5, pp.697-700, 2002.
- 11) 松葉直也, 李宙宮, 朴範眞, 李旻宣, 宋チョロン, 宮崎良文: 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, Vol.16, No.3, pp.133-139, 2011.
- 12) International Organization for Standardization: ISO 10075-1991 : Ergonomic principles related to mental work-load—General terms and definitions, pp.1-5, 1991.
- 13) 赤尾直彦, 披田野清良: 個人内変動を考慮した虹彩情報の情報量評価手法に関する一考察, 第1回バイオメトリックス研究会資料, pp.18-22, 2012.
- 14) 久田文, 鈴木弥生, 吉永淳: 尿中ヨウ素排泄濃度の個人内・個人間変動, 日衛誌, Vol.66, pp.711-716, 2011.
- 15) 山地敬司: 心拍とスポーツ—心拍数による健康法—, 共立出版, 東京, p13, 1982.
- 16) 髻谷満, 林由紀子, 関川清一, 川口浩太郎, 大成浄志, 小林和典: 運動中の心拍変動と換気性作業閾値との関連—MemCalc 法による検討 (第一報)—, 体力科学, Vol.50, No.2, pp.185-191, 2001.
- 17) 朝倉万里, 本多薫, 石原正規, 土居倫子: 地下街の評価指標としての印象評価および心拍変動の有効性に関する検討, 地下空間シンポジウム論文・報告集, Vol.7, pp.1-10, 2002.
- 18) 本多薫: 座位安静時の心拍変動に関する検討, 山形大学大学院社会システム研究科紀要, Vol.7, pp.27-37, 2010.
- 19) 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.
- 20) 日本生理人類学会: カラダの百科事典, 丸善株式会社, 2009.