都心部に設置した緑陰空間の暑熱期における熱環境改善および医学的観点からの改善効果

Study on the Positive Effects of Creating Shaded Areas of Greenery in Urban Environments during the Hot Summer Season, both from the Perspective of Cooling the Environment itself and also from a Medical Perspective

手代木 純* 高柳 和江** 井口 義也*** 狩谷 達之**** 半田真理子*
Jun TESHIROGI, Kazue TAKAYANAGI, Yoshiya IGUCHI, Tatsuyuki KARIYA, Mariko Handa

Abstract : In order to verify the increased comfort level, which can be achieved by increasing the shade provided by greenery in urban areas, we conducted the following experiment in the summer of 2007. We created a shaded green area in Tokyo with trees planted in containers, and measured the physiological and psychological effects on people and the cooling effect on the environment. When we measured the relative temperature before and after the installation (the green shaded area and the paving blocks) and compared the results inside the green shaded area against an un-shaded area, we found that a reduction of 2~3°C had been achieved. Furthermore, we carried out a physiological test of the effects on twenty subjects and by testing their saliva we found that there had been a notable decrease in the level of cortisol. In a mood-profiling test (Profile of Mood States) we found that the subjects' irritability and aggression scores were also significantly lower, when measured before and after, under the shaded green area. These results indicate that even with a small area of shaded greenery, a certain level of environmental cooling can be achieved and they also demonstrate that there is an improvement in the physiological and mental state of people living in urban environments, proving, therefore, with quantitative data that there is a possibility for green shaded areas to make city life more pleasant.

Keywords: *Green Shade, Urban Area, Container Greening, Thermal Environment, cortisol, POMS*

キーワード: 緑陰, 都市空間, コンテナ緑化, 熱環境, コルチゾール, 感情プロフィール検査

1. はじめに

日本の都市の緑被率は減少の一途をたどっている。たとえば名古屋市の場合、1990年時点の29.8%から、以降5年おきの調査で27.4%、25.3%、最新の2005年調査で24.8%であり¹⁾、特に民有地での減少が著しい²⁾。こうした状況に対応すべく、同市では2008年10月より市内の地域別に最低緑化面積を定めた「緑化地域制度」を導入するなど、新たな取り組みが行われつつある。

また現代はストレス社会ともいわれている。厚生労働省の調査によれば労働者の強い不安、悩み、ストレスを持つ割合は男性で63.8%、男女合計で61.5%に達しており³⁾、特に労働者人口が集中する都市部においては、緑によるストレス緩和効果が期待されている。社会医学の分野では都市住民の健康と近隣の緑の存在の関係性を見る研究がなされている。Takanoら⁴⁾は東京都内に住んでいた75歳以上の高齢者3,144人の居住空間に緑があるかどうかを調査し、さらにその5年後の健康状態を追跡調査した結果、住んでいる場所の近くに緑がある人は、5年後の生存率がそうでない人に比べて1.03倍から1.24倍高いことを示した。オランダではMaasら⁵⁾が年齢、社会経済階層居住地域（都市と郊外）の異なる25万人に調査分析し、生活圏での身近に存在する緑と住民の健康に影響があることを明らかにした。ほかにも、公衆衛生の見地から緑が都市空間に必要であるとする報告がある^{6)~10)}

こうした中で、みどりの持つ効果を定量的に明らかにして、緑化を推進しようとする動きが近年活発化してきており、ヒートアイランド対策や温暖化防止の観点からはすでに多くの知見が得られつつある。しかし緑化された場所での都市住民の快適性について、人間の生理的データで検証されたケースは依然として実証例が乏しい¹¹⁾のが現状である。

ストレスを表す指標として、唾液に含まれるコルチゾールは被

験者にストレスを与えずに測定できる方法であり、さらにSD法などの主観評価などを加えた研究が進められてきている。ストレスの測定は本来、通常的生活環境や日常的な行動の中で比較することが望ましいが、これまでは脳波の計測など非日常的な計測装置を用いたケースや、また何らかの運動などの動的ストレスを与えて変化を見るケースが多い¹²⁾。

緑の癒し効果が注目される中で、代替医療や園芸療法、森林セラピーなどの研究例はあるものの、都市の緑化による研究では、多田ら¹³⁾やTakayanagiら¹⁴⁾による植物と人工物との生理及び心理上の比較や、岩崎ら¹⁵⁾の都市公園内の植栽の比較などの研究事例が挙げられる程度である。また実験計測の都合で郊外部の都市公園や圃場などが用いられるケースがほとんどであり、都心部のオープンスペースにおいて、特に高木の緑陰下における日常的な行動の中で、落ち着いて過ごした前後で比較を行った研究例は見られない。

そこで本研究では、これまでに明らかとなっていない、緑陰のほとんど無い都心部に新たに緑陰を創出した場合、どの程度快適性が向上するかを検証するため、コンテナ樹木等で構成された緑陰空間を東京都心部に仮設した上で、緑陰による熱環境改善効果、及び人的な生理および心理的效果を計測した。すなわち、緑陰下で過ごす人々の快適性の変化について複合的な視点で明らかにしようとしたものである。

この研究は、小規模な緑陰を創出することで、暑熱期の屋外の熱環境改善効果と、従来研究例が乏しいとされる¹¹⁾緑陰創出による人体への快適性の改善効果を客観的、定量的データに基づき示すことを目的としている。この成果により、緑陰創出の意義が見いだされ、さらに、その取り組みが進められるための根拠となるものと考えられる。

*財団法人都市緑化技術開発機構 **日本医科大学 ***前 財団法人都市緑化技術開発機構 ****(株)環境・グリーンエンジニア

なお、この実験の生理・心理に関する調査研究については、(財)都市緑化技術開発機構倫理委員会(委員長 服部明世)の審査を受け、2007年第1号として承認された。

2. 実験方法

(1) 緑陰の設置

仮設的なコンテナ樹木と芝生による緑陰空間を、秋葉原駅西側駅前広場(東京都千代田区外神田)に2007年8月29日～9月10日の13日間、設置した。レイアウトは、まとまった樹群(樹木9本)に囲まれた緑陰+芝生空間と、樹木3本による緑陰、芝生のみの空間と、タイプの異なった緑化空間とした(図-1)。

使用樹種は、樹高5m・枝張り2.5m内外の常緑樹(シラカシ4本、クスノキ1本)と落葉樹(サルスベリ2本、サクラ類2本、ハナミズキ・ヒメシャラ・シナノキ各1本)計12本である。樹木は幅1.6m×奥行1.6m×高さ0.9mのワイヤメッシュ製コンテナ(樹木固定装置内包)に設置した。また、コンテナ上部およびエリア周縁を草花により縁取りして修景した。芝生は切芝のクワライシバを防水シート直上に設置した。設置面積は、樹冠面積85㎡、芝生張り面積67㎡(うち樹冠下24㎡)、計128㎡であった。なお、このほかに休憩施設としてコンテナ樹木周辺にベンチ12基を設置した。設置期間中は、利用者へのアンケート調査も実施した。

図-1 位置図

写真-1 設置状況

図-2 センサー等設置位置図

(2) 熱環境調査

日向および緑陰下での気温、湿度、WBGT(湿球黒球温度、人体の熱収支に影響の大きい湿度・輻射熱・気温の3つを取り入れた指標、暑さ指数とも言う)及び熱画像による表面温度などを計測した(表-1)。温度・湿度・日射量については設置期間中、

表-1 熱環境調査の測定内容

測定項目	測定位置
温度	・緑陰地の樹冠下(地上高2.5m)で樹冠内部
	・同 樹冠上(地上高4.0m)で樹冠表面
	・日照地の地上高2.5mと地上高4.0m ※温度センサーは通風を確保したアルミ製カバーを掛けて、直射日光を避けた。
湿度	緑陰地の樹冠下、および日照地の地上高2.5m
照度	緑陰地の樹冠下(地上高2.5m)と樹冠上(地上高5.0m)
WBGT	緑陰地、および日照地2箇所の計3箇所 高さ0.8～1.2mの位置

10分おきの瞬時値を連続観測した。さらに特定日観測として、期間中で最も晴天で高気温が観測された日であった2007年9月8日に、WBGT値および熱画像の撮影を行った。

(3) 生理・心理効果調査

(i) 調査の概要と進め方

調査は2007年9月9日、健康な男女20名を10名ずつの二組に分けて、今回設置した緑陰環境と、同一広場内に設置した人工的な日陰(テント内、以下テント日陰環境という)で、午前9:45～10:45の1時間をリラックスして過ごし^{補注1)}(以下、環境体験という)、その前後に実施した血圧・脈拍・呼吸数等の生理検査、心身医学に基づく心理テスト、免疫系に関する唾液検査により、生理・心理効果について検証した。広場の滞在時間としては、短時間での利用や長時間での利用が考えられるが、今回は二つの環境による生理的・心理的効果の特性を把握することを目的としていることから、既往研究¹⁴⁾より反応を捉えやすいとされる1時間を滞在時間とした。

(ii) 被験者の状況

被験者は、健康な19-24歳(平均年齢21.09歳)の男女の大学生が対象である。男性13人(平均21.5歳)、女性7人(平均19.7歳)である。被験者の当日の行動は、朝食を摂らずにJR秋葉原駅改札口で集合した。インフォームド Consent をして実験の同意書を提出した後、緑視を避けるため、アイマスクをつけて西口広場の緑陰を見ないように歩道橋下の本部テント(前検査場3.6m×5.4m)に移動した。

調査に先立ち、被験者全員の疲労蓄積度を把握した。これは慢性疲労により、緑に対する反応が変わると考えられたためである。調査では、厚生労働省作成の労働者の疲労蓄積度自己診断チェックリスト¹⁶⁾を使用し自己診断の上、点数化した。この結果に基づき男女別平均値を算出し(男子12.23、女子15.00)、緑陰環境とテント日陰環境とで大きな差が出ないように、被験者を割り振った。以下、緑陰環境下に配置された被験者群を緑陰群、テント内に配置された被験者群をテント日陰群と呼ぶ(表-2)。

表-2 被験者の疲労蓄積度

緑陰群			テント日陰群		
男女別人数	平均年齢	平均疲労蓄積度	男女別人数	平均年齢	平均疲労蓄積度
男 7人	22.1	14.0	男 6人	20.8	10.2
女 3人	19.3	12.0	女 4人	20.0	19.0
計 10人	21.3	13.4	計 10人	20.5	13.7

(iii) 緑陰環境とテント日陰環境の状態

調査を実施した環境は、以下に示した二通りである。いずれも、調査時間中は関係者以外の立ち入りを止め、被験者はそれぞれの環境内に留まった。

① 緑陰環境

緑陰環境の環境条件は、気温は28.3～30.0℃。樹冠内2.5mの高さの温度が30.0℃、湿度は65%、照度は57～61klxであった。

② テント日陰環境

1.8m×3.6mのテントをテント日陰環境とした。樹木の視覚的影響を取り除くため、被験者をテント内に座らせた。階段側の壁

写真-2 緑陰環境(左)とテント日陰環境(右)

が見える一面を除き、三方にテント幕を下ろしたが、風通しを良くするため、テント下方1mを開けた。天井・壁共に、白い帆布で囲われた環境である。テント内気温は32.0～33.0℃、テント外で日向の高さ2.5mの気温は33.0～34.0℃、湿度は55～60%、照度は80～87klxであった。

(iv) 調査項目とその内容

①生理検査

自律神経機能の活動を反映する指標として血圧・脈拍・呼吸数を看護師により測定した。血圧は収縮期血圧（最高血圧）と拡張期血圧（最低血圧）を、呼吸数は30秒間の呼吸数を測定した。

②心理検査－1（POMS）

POMS（Profile of Mood States, 感情プロフィール検査）は、個人の気分状態や感情状態について、「緊張－不安」「抑うつ－落ち込み」「怒り－敵意」「活気」「疲労」「混乱」の六つの尺度から測定するように作成された検査である。

③心理検査－2（ワルテック描画テスト）

心理的な変化を描画により検査するため、ワルテック描画テストを行った¹⁷⁾。テスト用紙は、八つの太い黒枠で区切られた領域があり、そこに様々な刺激図形が描かれている。この図に対し、被験者がどのような印象を持ち、何を描画するかを見ることにより、被験者の反応や態度を理解するものである。

④唾液コルチゾール検査

ストレスがあると、扁桃体の不安中枢が活性化して、視床下部からの刺激で、副腎からストレスホルモンであるコルチゾールが高まるとされており、唾液コルチゾール検査により、ストレスの強弱が判断できる。本調査では、ガム状の採取器を5分間噛み、これを30分以内に専門業者により分離・採取し、測定した。

3. 実験結果

(1) 熱環境調査

(i) 小規模な樹群による気温の低減効果

調査の結果、今回設置した緑陰では、日向の環境と比べて日中で最大3℃強、概ね2～3℃の気温低減効果が確認された（図－3）。

図－3 緑陰(地上2.5m)と日向の地上2.5mの気温

(ii) 熱中症の予防対策効果

調査日の午後から実施した WBGT の計測結果では、日向の

図－4 WBGT の測定結果

WBGT が31～32℃に達して熱中症の危険性が非常に高い状態だったのに対し、緑陰では常に日向より低い29℃内外を推移した。また、風の影響により、日向の値は大きく変動したが、緑陰での変動は日向に比べて小さかった（図－4）。

(iii) 熱画像による表面温度低減効果

緑陰の設置前（8月27日）と設置後（9月4日、いずれも晴天）を比較すると、表面温度で最大11℃程度の差が認められ、仮設的な小規模な緑陰でも、十分な表面温度低減効果があることが確認された。なお、これらの熱環境に係る効果は、緑陰の蒸散による効果と日射を遮ることにより日陰となったことで得られた効果による気温低減効果が重なって現れたものと考えられる。

(2) 生理・心理効果検査

(i) 生理検査

環境体験前後の収縮期血圧・拡張期血圧・脈拍・呼吸数では、個々のデータは等分散性が認められた（Levene の検定による有意確率 $p > 0.05$ ）ものの、環境体験前後の比較や、グループ毎の比較では統計的に有意差のある結果は得られなかった。しかし、いずれのデータも緑陰群で環境体験による値の低下が確認できた。特に、収縮期血圧と拡張期血圧の差である脈圧は、テント日陰群に比べて緑陰群の方が少なくなり、自律神経が安定したと考えられた（表－3）。

表－3 脈圧の変化 (mg/kg)

	環境体験前	環境体験後
緑陰群 (N10)	46.8	44.8
テント日陰群 (N10)	42.4	42.7

(ii) 心理検査－1（POMS）

環境体験の前後の平均値の差と、t 検定の結果である t 値と、有意水準を、表－4 に示した。この結果、緑陰群では、環境体験前後で、「怒り－敵意」尺度の平均得点が1%水準で有意に減少したことが確認された。しかし、緑陰群・テント日陰群ともに、その他五つの尺度に有意な差は見られなかった（表－4）。

表－4 POMS 緑陰群前後間得点の比較

	緊張－不安	抑うつ－落ち込み	怒り－敵意	活気	疲労	混乱
平均値	-4.50	-3.30	-6.00	1.80	-1.70	-2.90
t 値	1.664	1.394	3.265	-0.980	0.612	0.187
有意水準	0.065	0.088	0.005	0.176	0.278	1.833

(iii) 心理検査－2（ワルテック描画テスト）

環境体験前後の描画状況を比較して、図に書き加えられた変化の数を主体とした量的分析では、変化の総数については緑陰群とテント日陰群で差はなかった。しかし、刺激図の内容に応じた変化では、緑陰群は大きな変化はなかったが、テント日陰群は反応が減少した。

図－5 テント日陰群の環境体験前後の描画（左が前、右が後）

図－6 緑陰群の環境体験前後の描画（左が前、右が後）

幾何学的な直線のみで構成され、思考の柔軟性は見られない。迷路はストレスの象徴であり、後の絵は偏執的な性向も見られる。

直線だけの絵が、体験後は曲線が加わり、柔軟性が出てきただけでなく、視点が広がっていることが読みとれる。

次に、図として描かれた内容を中心とする質的分析では、テント日陰群のほとんどがマイナス方向への変化したのに対し、緑陰群はプラスの変化を示した例が多かった（図－5、6）。

(iv) 唾液コルチゾール検査

唾液コルチゾールに関する個々のデータは等分散性が認められた（Levene の検定による有意確率 $p>0.05$ ）。環境体験前後の比較では、両者とも値の低下が認められたものの、緑陰群は環境体験により唾液コルチゾールが統計的に有意（ $p<0.05$ ）に減り、テント日陰群と比較して減少率が高かった。これに対し、テント日陰群は減少が認められるものの、統計的な有意ではなかった（ $p>0.05$ ）（表－5）。

表－5 唾液コルチゾールの変化（ $\mu\text{g/dl}$ ）

	環境体験前	環境体験後	有意確率 (両側)
緑陰群(N10)	0595±0.27	0.323±0.10	p=0.012
テント日陰群(N10)	0.634±0.22	0.459±0.18	p=0.087

4. 考察

(1) 緑陰の設置で得られた効果

コンテナ樹木による高さ 5m 内外の樹木 9 本からなる 120㎡程度の小規模な緑陰の設置により、気温や表面温度が低減し、地面に植栽された通常の植栽と同程度の熱環境改善効果が確認できた。また、仮設の設置でも十分な効果が確認されたことにより、夏場に限定した緑陰の設置など、導入範囲の拡大をも示唆する結果となったと考えられる。

(2) 生理・心理調査で得られた効果

被験者による生理・心理に関する調査の結果より、緑陰環境で過ごした場合はストレスホルモンである唾液コルチゾールが統計的に有意に減っていた。

POMS においては緑陰群では「怒り－敵意」を緩和させる効果があることが検証された（ $p<0.01$ ）。ただしいずれの環境下でもその他五つの尺度に有意な差は見られなかった。この点について、実験時期が暑熱期でいずれの環境においても暑かったこと、また実験場所が駅前広場であり、電車の走行音や駅・商業施設からの騒音の繰り返しによる影響が考えられた。

今回の実験場所は、周辺にほとんど公園の無い秋葉原地区を選定した^{補注2)}。商業地区に立地する緑化の少ない駅前広場としての典型例と考えられる。

なお、設置期間中、緑陰空間利用者にとったアンケート（N=685）で、「緑陰空間は都市のどこにあるとよいか」の問いでは、駅前広場が群を抜き（83.2%）、次いでビルの回り（61.6%）、道路の歩道等（38.7%）、などとなった。この問いには、アンケートを実施した場所の印象が色濃く反映されたと考えられるが、市民が日常的に利用する公的な空間への緑陰を求める割合が高いと考えられる。

5. まとめ、今後の課題

本研究では、小規模な緑陰における熱環境改善効果および生理・心理効果について検証した。この結果から、小規模な緑陰空間であっても熱環境改善が図られ、かつ住まう都市住民の生理・心理効果が向上する一端を示すことができ、緑陰が快適性の向上に資する緑陰が快適性の向上に資する可能性が定量的データにより示唆された。

特に、生理・心理効果測定の結果から、都市の緑陰環境に身を置くことで、都市住民のストレスを軽減し、疲労感を減らすことができる可能性が示唆された。

高柳¹⁸⁾は、都市空間に緑陰環境を設置することにより、予防的リラックス効果で、医療費削減につながる可能性を指摘している。

こうした点も含め、都市の緑陰環境の創出により、熱環境改善効果のみならず、ストレスの軽減に果たす役割など、多様な観点で緑陰の創出による評価ができるよう、都市住民の生理的、心理的効果に関する知見をさらに蓄積していくことが重要である。

謝辞：この実験は、国土交通省から（財）都市緑化技術開発機構が受託した調査において行われた成果の一部である。本研究の実施にあたり、調査協力を頂いた関係者および被験者の方々、熱環境データの分析についてご示唆を頂いた和歌山大学山田宏之准教授に感謝の意を表します。

補注

補注1) 1時間の環境体験の中で、都市環境や通常の広場にいる時に日常的に行われていると考えられる行為のうち、携帯ゲーム機の使用と携帯電話による通話は、他の被験者にストレス等の影響を及ぼす危険性と、被験者が心理的に没頭して環境影響がなくなる可能性があった為に禁止したが、携帯電話機器を使用した電子メールの送受信は他の被験者に及ぼす影響が少ないため許可した。また被験者同士での会話は可とした。なおテント日陰群は、常に日陰に設置された椅子に座っており、被験者の移動はなかったが、緑陰群は日陰の移動に伴い、適宜座るベンチを移動した。

補注2) 駅を挟んで反対側 250m 先に一カ所、線路を潜らずに到達できる公園が 400m 先に一カ所ある。

引用文献

- 1) 名古屋市(2006):名古屋市のみどり 緑の現況調査報告書, 164pp
- 2) (財)都市緑化技術開発機構編集(2006):緑の都市再生ガイドブックーこうすればできる緑のネットワークー:ぎょうせい, 168pp
- 3) 平成14年労働者健康状況調査の概要(2003)厚生労働省ホームページ <<http://www.mhlw.go.jp/toukei/itiran/roudou/saigai/anzen/kenkou02/index.html>>, 2003.8更新, 2008.9.23参照
- 4) Takano T, Nakamura K, Watanabe M.(2002): Urban residential environments and senior citizens' longevity in megacity areas: the importance of walkable green spaces. : J Epidemiol Community Health. 56(12):913-918
- 5) Maas J, Verheij RA, Groenewegen PP, de Vries S, Spreeuwenberg P.(2006): Green space, urbanity, and health: how strong is the relation? : J Epidemiol Community Health. 60(7):587-592
- 6) Baum F. (2002): Health and greening the city; setting for health promotion : J Epidemiol Community Health. 56(12):897-898
- 7) Duhl L. (2002): Health and greening the city; relation of urban planning and health. : J Epidemiol Community Health. 56(12):897
- 8) Ashton JR. (2002): Health and greening the city. : J Epidemiol Community Health. 56(12):896
- 9) McKenna J. (2002): Health and greening the city; new visions for health promoters. : J Epidemiol Community Health. 56(12):896
- 10) Laraque D, Barlow B, Durkin M, Heagarty M. (1995): Injury prevention in an urban setting: challenges and successes. : Bull N Y Acad Med. 72(1):16-30
- 11) 岩崎寛(2006):都市公園における植栽樹のストレス緩和効果, 造園分野における人の健康と緑の効果に関する取り組み:ランドスケープ研究 70(2), 147-149
- 12) 加藤みわ子・伊藤康宏・永忍夫・清水遵(2006): 軽度の運動が慢性ストレスにおよぼす影響について-唾液中 Cortisol 濃度, 気分評定による検討-:生物試料分析 29(2), 146-150
- 13) 多田 充・藤井 英二郎(2006):生理・心理的応答からみた緑陰の視覚的快適性:ランドスケープ研究 69(5), 475-478
- 14) Takayanagi Y, Hagihara Y (2005): To Extend Health Resources in a Forested Hospital Environment -A Comparison Between Artificial and Natural Plants- : 日本末病システム学会雑誌, 11(2): 247-259
- 15) 岩崎 寛・山本 聡・石井麻有子・渡邊幹夫(2007):都市公園内の芝生地およびラベンダー畑が保有する生理・心理的効果に関する研究:緑化工学会誌 33(1), 116-121
- 16) 労働者の疲労蓄積度自己診断チェックリストの公開について(2003)厚生労働省ホームページ <<http://www.mhlw.go.jp/houdou/2003/05/dl/h0520-3a.pdf>>, 2003.6.23更新, 2008.9.11参照
- 17) ウルスラ・アヴェ＝ラルマン/著 高辻玲子ら 投影描画法テスト研究会/責任編集 (2002):フルテック描画テストー心理相談のためのー:川島書店, 197-200
- 18) 高柳 和江(2008):都市空間における緑陰の効果ー生理的, 心理的, 身体的分析ー:日本補完代替医療学会誌 5(2), 145-152