

令和元年6月3日現在

機関番号：22604

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K18169

研究課題名(和文)都市緑化設計支援のための樹木の日射遮蔽効果の可視化

研究課題名(英文)Visualization of solar shading effect by trees in urban areas

研究代表者

熊倉 永子(Kumakura, Eiko)

首都大学東京・都市環境科学研究科・助教

研究者番号：90716135

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、夏季午前中の通勤時間帯の都心部の歩道を対象に、移動実測とシミュレーションによって、樹木の日射遮蔽効果が期待される場所を抽出し、特徴別に分類し、その結果を地図上に可視化した。具体的には、移動実測では、気温と平均放射温度を道路方位別に分析し、樹木の日射遮蔽効果が高い街区の実態を把握した。熱環境シミュレーションでは、実在する13街区で計算し、歩道上の日陰の割合と、平均放射温度の関係を分析した。樹木の日射遮蔽効果は、歩道面積に対し最大40%程度であり、歩道に木陰が形成されない街区もあった。以上を踏まえ、歩道上の日陰の割合、平均放射温度と気温差から、対象街区に対する熱環境対策マップを作成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

都市の緑は、街路樹や空地に積極的に取り入れられており、今後も増加することが期待されているが、その物理的な効果を定量評価する研究は少ない。本研究は、夏季の通勤時間帯における歩道に対し、樹木の日射遮蔽効果が高い場所を抽出・分類し、地図上に可視化したものである。実測により、道路幅、建物高さ、道路方位によって熱放射環境が似た傾向であることを把握した上で、それぞれに対し、シミュレーションによって樹木の日射遮蔽効果による対策方法を分類した。樹木の日射遮蔽効果を実際の街区へ導入する方法に関する情報は、快適性に配慮した都市緑化の際に役立つものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：In order to provide a visualization of the solar shading potential from trees on the map in urban areas, the thermal environment for the morning commuting hours in summer was measured by bicycle with equipment and simulated. The air temperature and the mean radiant temperature (MRT) were measured and analyzed according to road directions on the marathon course for the Tokyo 2020 Summer Olympics as representative urban blocks. The 13 typical blocks in the road were simulated. The relationship between the percentage of shade on the sidewalk and the MRT was analyzed. The solar shading effect of trees was up to about 40% of the sidewalk area, and the minimum of that was 0% despite having trees. Based on the percentage of shade on the sidewalk, the MRT, and the air temperature difference, a thermal environment countermeasures map for the blocks was created.

研究分野：都市・建築環境工学

キーワード：樹木 日射遮蔽効果 都市熱環境 対策マップ

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

都市緑化は、これまで国や地方自治体の緑化施策は積極的に導入されているものの、樹木の本数や緑被面積等で評価されているのが現状である。実際の計画で快適性に配慮した都市緑化を実現するには、植栽のデザインに加え、地面の材料や周辺建物との関係、滞在場所や動線、植栽の生長を見込む維持管理計画等、配慮すべき項目は多い。しかしながら、設計初期段階でそれら全てについて検討することは難しい。また、建築や造園にまたがる知識や経験が必要になるため、多くの人の間でコミュニケーションがとれるよう可視化することは有効であるが、樹種や剪定の状態により木陰の形状が変わるなど、樹木側のパラメータも多い。建築環境工学の分野では、緑化による熱環境緩和効果をシミュレーションによって定量的に予測する研究は見られる¹⁾が、実際に実務へ導入されている事例は少なく、設計者の経験や感覚で進められていることが多い。

2. 研究の目的

都市緑化は夏季日中の日射遮蔽効果が期待できるが、その他の時間帯は、周辺建物の形態や材料、地表面の材料との組み合わせや、さらには樹木の3次元形態の違いにより効果は異なる。それを設計初期段階の試行錯誤の中で検討するには、時間や手間が必要になる。そこで本研究では、午前中の通勤時間帯に着目し、都市の中で樹木の日射遮蔽効果をはじめとする暑さ対策が求められる場所を、実測とシミュレーションによって抽出する。その結果をもとに、それぞれの特徴に合わせた対策を示すマップを作成することを目的とする。

3. 研究の方法

樹木の日射遮蔽効果が求められる都市の特徴的な街区として、東京2020大会のマラソンコース沿いの歩道に着目し、以下の方法で研究を進める。

(1) 熱放射環境の移動実測

夏季晴天日に、歩行空間の熱放射環境を自転車移動実測し、方位などの街区形態の違いから、傾向を分析した。自転車に取り付ける測定機器を表1に示す。時速は10~15km/hで移動し、記録はそれぞれ2秒間隔で行った。空気温度は小型ファンを取り付けたステンレス二重管を取り付けた。平均放射温度計は、中大窪らのものを使用した²⁾。

表1 移動計測の測定項目と機器

測定項目	測定装置	間隔	測定高さ
気温	φ0.2mmT型熱電対	2s	GL+1200
相対湿度	TDK CHS-UPS		GL+1200
放射温度	ピンポン球グローブ球+φ0.2mmT型熱電対		GL+1000
六方位日射量	サーモバール式日射計 PREDE PCM-01		GL+1000
風速	指向性熱線微風速計 KANOMAX AM-14SD		GL+1000
座標	GPS Garmin Oregon		—
周辺状況の記録	インターバルレコーダー-KINGJIM「レコロ」IR7	—	
長短波放射量	平均放射温度計 ³⁾	1s	GL+1000

(2) 熱環境シミュレーションを用いた実在街区における樹木の日射遮蔽効果の予測

移動実測結果から、熱環境の特徴が異なる街区の代表と、特に対策が必要な箇所として、13箇所を抽出し、1街区あたり300m程度を対象とした。計算は、熱環境シミュレーションソフト(ThermoRender 5 Pro, A&A社製)を使用した。気象条件は、東京大手町の気象庁の観測データから、過去10年間の8月上旬のデータの中で、日照時間が7時間以上の日が5日間連続する2014年8月7日を使用した。通勤時間を想定し、7:30~10:00の結果を分析した。歩行者の暑熱環境は、地上高さ1.2mの平均放射温度で評価した。また本研究では、各街区において、歩道の地表面積に対する日陰の割合を日陰率と定義して分析に用いた。

(3) 暑熱環境対策マップの作成

シミュレーションで得られた各街区において、地面が日陰となる割合(日陰率)と平均放射温度の結果から、平均放射温度と気温の差を3間隔、日陰率を20%の間隔で、5段階の街区に分類し、道路方位、道路幅員、建築の容積率から、周辺街区の傾向を予測し、マラソンコース全域に対し、対策マップを作成した。

4. 研究成果

研究項目(1)~(3)において得られた成果は、以下の通りである。

(1) 熱放射環境の移動実測結果

気温分布

移動実測中の気温上昇を考慮し、実測した気温と気象庁で(図1参照)測定された気温との差を図1のGIS上にプロットした。今回は、道路幅と建物の高さの比や天空率の差が小さい都心の大通りを対象としたため、道路沿いの建物の陰が異なる道路方位別に分類し(図2左)、気温差を箱ひげ図で比較した(図2右)。国立競技場から雷門の方向に対し、左側歩道を往路、右側歩道を復路とする。気温差が大きくなる場所はE-Wの北側、WNW-ESEの南側、NNW-SSEの東西側、S-N・SSW-NNE



図1 気温差の分布(8月22日)

の西側であった。特に WNW-ESE や NNW-SSE では午前中に太陽の方位と道路方位が重なるため街路全体の地面が温められやすく、どちらの歩道位置でも熱環境は悪化していると考えられる。一方、E-W の南側、S-N の東側、SSW-NNE の東側は気温差がマイナスに多く分布していた。これらは日の出から実測する時間まで、道路沿いの建物の影になっている場所が多く、地表面温度の上昇が抑えられているためと考えられる。

道路方位	該当道路
西-東	N 2・6・12・15
西北西-東南東	N 4・10
北北西-南南東	S 7・14
南-北	W 3
南南西-北北東	W 1・5・9・11 E 13・16
西南西-東北東	なし

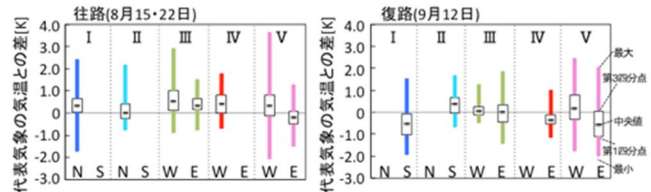


図2 道路方位・歩道位置別の平均気温差

熱放射環境と樹木の日射遮蔽効果

屋外では日射による人体の温熱感覚への影響は大きく、特に前面からの照射で温熱生理や快適性が悪化する³⁾。そこで図3に道路方位別、歩道位置別それぞれの人体に入射する日射量を示す。皇居前では、周囲に日射遮蔽物がなく、全街区の中で最も過酷な暑熱環境となった。同じ方位でも建物がある大手町(図3右)と比較すると約5倍異なる。往路 E-W 道路の北側では、太陽高度が低い時間に進行方向が太陽方向と重なり、前面からの日射の影響が特に大きく、また気温もやや高いため熱環境は悪い。復路では NNW-SSE の東側で前面からの日射が多い。往路・復路ともに SSW-NNE の市ヶ谷駅周辺は東側がお堀で日射遮蔽物がないため、街路樹の有無が大きく影響していた。

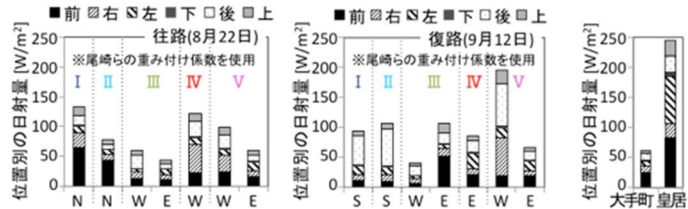


図3 道路方位・歩道位置別の重み付け日射量

対象街区の中で特に、W-E・WNW-ESE 道路の北側では、街路樹で日陰が有効に形成されている場所があった。平均放射温度を図4で比較すると、木陰の有無で短波放射量が大幅に抑えられ、約15%低いことがわかる。

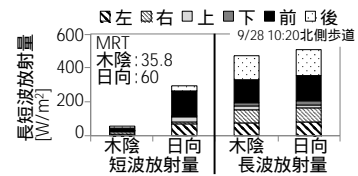


図4 A地点の日向・木陰の長短波放射量の比較

(2) 熱環境シミュレーションを用いた実在街区における樹木の日射遮蔽効果

図5に再現した対象街区の場所を示す。図6に30分ごとに算出した MRT の平均値を、街区区内のばらつきを示すために箱ひげ図で示し、日陰率は棒グラフで30分ごとの値を示した。平均した時間帯は街区によって異なるが、日陰率と MRT の関係を見ると、街路樹や建築物の影によって MRT の上昇が抑えられている場所が多い。



図5 再現した街区の位置

そこで、図6中に示す4タイプに分けて考察する。1) 歩道の影が木陰のみの市ヶ谷では、密集した街路樹が見られるが、歩道の40%程度しか木陰が形成されていない。2) 左門町の往路のような、時間経過とともに木陰面積が増加する街区でも、木陰面積は20%程度である。3) 浅草や銀座のような、建物の影と木陰が重なる街区は、道路沿いの建物の影響で日陰率が大きく変化せず、樹木の日射遮蔽効果は小さい。4) 岩本町や飯田橋では、太陽高度の関係で歩道に木陰が落ちないため、樹木のような水平方向の日よけでは日陰が形成されず効果はないため、鉛直方向の日よけの設置が必要になる。

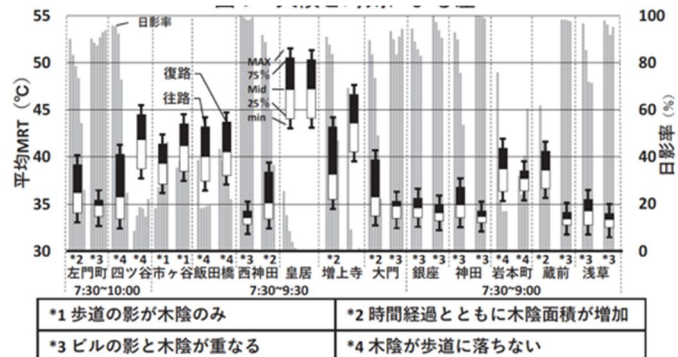


図6 街区別の平均 MRT と日陰率

(3) 暑熱環境対策マップ

作成したマップを図7に示す。シミュレーションを行った街区は実線で示し、道路方位、道路幅員、建物の容積率から推定した街区は破線で示した。全街区の中で最も涼しい街区 No.1 (MRT と気温の差が3℃以内、日陰率が

80%以上)は、ほとんど建物の影であるため、新たな対策の必要性が低いコースで、全体の 8.7%を占めた。次に涼しい街区 No.2 と 3 では、多くの場所で、すでに樹木の日射遮蔽効果が発揮されている街区であり、全体の 64%を占める。これらの街区は、さらに、剪定の工夫により街路樹の樹冠を連続させることや、街路樹の間に人工の膜を設置するなど並木状にする対策が有効である。街区 No.4 は、横からの日射が当たるため、天蓋や街路樹による水平方向の日よけではなく、垂直方向の日よけのために、人工の日除けをスクリーン状に設置するなど、日よけの位置や設置方法に工夫が必要である。街区 No.5 は全体の 9.3%程度であるが、日射遮蔽物がほぼなく気温より MRT が 12 以上であるため、大規模な日除けの設置は必須と考えられる。

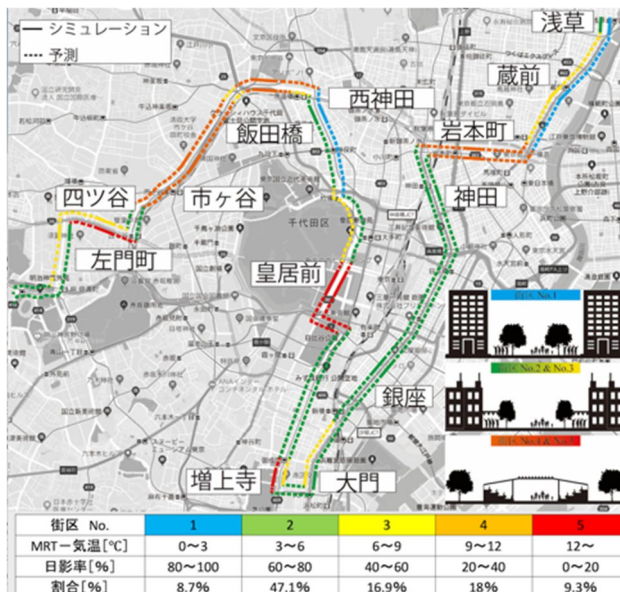


図7 熱環境対策マップ

提案した対策について、熱環境シミュレーションで効果を確認した。対象は、街区 No.3,4 の四ツ谷、街区 No.4 の市ヶ谷、街区 No.5 の皇居前広場とした。既存の街路樹が多い市ヶ谷では、道幅が狭く道路上に大規模な日射遮蔽物が設置できないため、更に歩道に植樹し、既存の街路樹と樹冠を連続させるように緑化した。一方、四ツ谷と皇居前広場は、道路幅員、道路方位、少ない日射遮蔽物などの影響で日影が形成されにくい。中央分離帯に植樹可能なスペースを持つ四ツ谷は、歩道上と中央分離帯上に街路樹の樹冠が連続するように新たに植樹を行い、大規模に緑化した。日射遮蔽物が無い皇居前広場は、歩道上にテントを設置し観客の日影面積を増加させた。図8に歩行空間の MRT と日陰率について、対策前後の結果を示す。四ツ谷では、往路・復路ともに、日影率は 30~60%程度増加し、MRT は 8~10 程度低下した。市ヶ谷では、新たに植樹をしても、外堀の土手の樹木も大きくしなければ復路の歩道の日影率を上げることができなかった。皇居前広場における歩道上の大規模な膜構造による日射遮蔽物の設置は、15 程度の MRT が低下した。

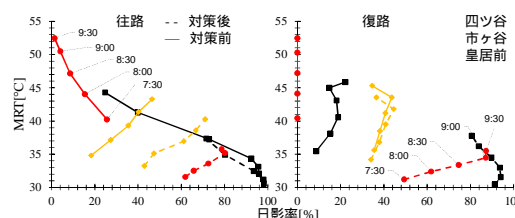


図8 樹木による熱環境対策の効果

以上より、本研究では、通勤時間帯の都心部の歩道を対象に、実測とシミュレーションによって、樹木の日射遮蔽効果が期待される場所として、街区の特徴別に 5 タイプに分類し、地図上に可視化した。今後の課題として、分類した 5 タイプを、他の街区や他の時間帯へ展開し、データを蓄積することや、樹木側のパラメータを充実させることなどがあげられる。

<参考文献>

- 1) T.Asawa, A. Hoyano, K. Nakaohkubo (2008): Thermal design tool for outdoor spaces based on heat balance simulation using a 3D-CAD system, Building and Environment, 43(12), 2112-2123.
- 2) 中大窪千晶, 浅輪貴史, 吉野瑛子, 移動実測のための平均放射温度計の開発, 日本ヒートアイランド学会第 10 回全国大会, pp112-113, 2015.8
- 3) 井上理史, 吉田伸治, 日射の強度と方向性が温熱生理と快適性に及ぼす影響, 日本建築学会大会北陸支部研究報告集, pp283-286, 2009.7

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 1 件)

Eiko Kumakura, Yui Miyakawa, Sunaga, Nobuyuki, Onodera, Hiroko and Fukasawa, Tomomi, Influence of residents' behaviour on the thermal environment of a common garden path for detached houses in summer, Architectural Science Review, Vol.62, 2019, 47-57
<https://doi.org/10.1080/00038628.2018.1510367>

[学会発表](計 16 件)

熊倉永子, 竹田紘次郎, 須永修通, 位置情報付き温冷感ツイートの投稿傾向の分析 夏期の東京 23 区を対象として, 日本建築学会学術講演梗概集(東北), pp877-878, 2018.9
 岡崎史門, 熊倉永子, 須永修通, 中大窪千晶, 東京 2020 オリンピックマラソンコース

における暑さ対策に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集(東北), pp933-934, 2018.9
 岡崎史門, 熊倉永子, 須永修通, 中大窪千晶, 2020年東京オリンピックマラソンコースの温熱環境 その5 暑熱環境マップの作成と対策効果の予測, 日本ヒートアイランド学会第13回全国大会, 大阪, pp.154-155, 2018.8
 竹田紘次郎, 熊倉永子, 須永修通, 温冷感に関するツイートを用いた東京23区の屋外熱環境に関する研究, 2017年度日本建築学会関東支部研究報告集, pp.59-62, 2018.3
 岡崎史門, 熊倉永子, 須永修通, 中大窪千晶, 2020年東京オリンピックマラソンコースの温熱環境 その3 数値解析による選手及び観客に対する対策効果の検討, 日本ヒートアイランド学会第12回全国大会, 東京, pp.64-65, 2017.8
 竹田紘次郎, 熊倉永子, 須永修通, 夏期東京都における温冷感ツイートの投稿密集地の特徴, 日本ヒートアイランド学会第12回全国大会, 東京, pp.50-51, 2017.8
 Koujiro Takeda, Eiko Kumakura and Nobuyuki Sunaga, Awareness trends of urban thermal environment during summer based on tweets and photos, The 33th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, proceedings USB, Edinburgh Scotland, 2017.7
 Junya Hasegawa, Eiko Kumakura, Masayuki Ichinose, Ultraviolet radiation on an urban street with high-rise buildings in Asia, International Conference on Sustainable Synergies from Buildings to the Urban Scale, SBE16, proceedings USB, Thessaloniki Greece, 2016.10
 Eiko Kumakura, Saeka Yamada, Nobuyuki Sunaga and Kazuaki Nakaohkubo, Thermal Environment of Marathon Course Area at the 2020 Tokyo Olympics, 3rd ICAP, pp154-159, Yogyakarta Indonesia, 2016.8
 竹田紘次郎, 熊倉永子, 須永修通, ツイッターユーザーの都市熱環境への意識 夏期の東京都を対象として, 2016年度日本建築学会関東支部研究報告集, pp.37-38, 2017.2
 長谷川順也, 熊倉永子, 一ノ瀬雅之, 都心部の高層ビル街における紫外放射環境の実態, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), pp.929-930, 2016.8
 熊倉永子, 山田冨加, 須永修通, 2020年東京オリンピックマラソンコースにおける温熱環境の移動計測, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), pp.931-932, 2016.8
 竹田紘次郎, 熊倉永子, 須永修通, 温冷感に関する位置情報付きツイートを用いた都市温熱環境の分析 夏期の東京都を対象として, 日本ヒートアイランド学会第11回全国大会, 広島, pp.60-61, 2016.7
 山田冨加, 熊倉永子, 須永修通, 中大窪千晶, 2020年東京オリンピックマラソンコースの温熱環境 その1 移動計測による道路方位別の比較, 日本ヒートアイランド学会第11回全国大会, 広島, pp.100-101, 2016.7
 長谷川順也, 熊倉永子, 一ノ瀬雅之, オフィスビル街の滞在空間における光・熱・紫外放射環境の実測, 日本ヒートアイランド学会第11回全国大会, 広島, pp.48-49, 2016.7
 Eiko Kumakura, Yui Miyakawa, Nobuyuki Sunaga, Hiroko Onodera, Tomomi Fukasawa. Relationships between the design of common garden paths and thermal environment in summer, 4th International conference on Countermeasures to urban heat islands, proceedings USB, Singapore, 2016.5

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。