

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：34406

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760552

研究課題名(和文) 緑化建築物の省エネ効果を最大化するための熱・水収支的な熱負荷軽減量評価技術の開発

研究課題名(英文) Development of assesment technique to evaluate heat load reduction rate from the view point of heat and water balance in order to maximize the energy saving for wall greening building

研究代表者

高山 成 (TAKAYAMA, Naru)

大阪工業大学・工学部・講師

研究者番号：40403373

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：近年、登攀型の壁面緑化植物として急速に普及しているノアサガオを使って、植栽面の面積に対して約11倍の葉面積を繁茂させた。この壁面緑化物の水消費量の日平均値は、1日あたり18.4mmであった。気象条件のみに支配される基準蒸発散量に対する水消費量の比を水消費量率とした時、同期間における水消費量の最大値は15程度だった。水消費量率の最大値15に対する日々の水消費量率を標準水消費量率として、日平均風速、日平均土壌体積含水率、日積算壁面日射量、対地葉面積指数の環境因子を説明変数とする推定モデルを構築した。日々の水消費量の実測値に対する、モデルの推定値の絶対平均誤差は6.1%程度と良好な結果が得られた。

研究成果の概要(英文)：In this study, wall greening with vines was constructed using a simple net on a south wall, and the water consumption of the plants was evaluated. A model to estimate the water requirement for wall greening was proposed in which weather conditions and plant growth were considered as explanatory variables. From August 20 to October 2, the mean daily water consumption was 18.4 mm, the estimated total water consumption was 1.8m³ and the mean leaf area per unit of ground (LAIg) was 11.0. We defined the ratio of water consumption to the maximum value as the standard ratio of water consumption, and estimated the daily standard water consumption rate with our model that uses several climatological factors and LAIg as explanatory variables. The mean absolute error for the estimation was 6.1%, suggesting that the water consumption of the wall greening could be evaluated quantitatively through investigation of the water balance of plants.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：熱環境 壁面緑化 水消費量 熱負荷

1. 研究開始当初の背景

近年、都市域におけるヒートアイランド現象が問題となっている。コンクリートや建築物が地表を覆っている都市部では、太陽エネルギーが蓄熱されやすく、植生や水域の蒸発散による冷却効果も少ないため、市街地が高温になりヒートアイランドを形成する。わが国の過去 100 年間の主要 24 都市の気温の上昇は、+0.4 ~ +3.7 で多くの地点で 1 を超えるのに対して、地球温暖化による昇温は +1.0 程度であり、ヒートアイランドによる気温の上昇は無視できない大きさである (Kusaka et al. 1998)。さらに気温の上昇幅は大都市ほど著しく (Kitou, 2004)、都市高温化の問題点として、夏期の電力消費量の増大、熱帯夜の増加など住環境の悪化、大気汚染、集中豪雨などが指摘されている。

都市域にはオフィス街が集中するが、都市気温の過度の上昇は労働環境を悪化させ労働効率を低下させる。すなわち、都市化に伴う昇温は、多数の人間の活動空間である都市の気象環境を快適に保つために、エネルギーコストを余分に必要とすることを意味する。わが国は京都議定書の批准により、2008 年から 2012 年までの期間に温室効果ガス 6 種を 1990 年比 - 6% 削減する義務を負っているが、2008 年度の段階で都市域を中心とした商業・サービス・事業所等から排出される温室効果ガスは、1990 年比 +41.3% と他 4 部門 (産業、運輸、家庭、エネルギー転換) と比較して最大となっている (Ministry of the Environment, 2007)。

このような背景から、政府は「ヒートアイランド対策大綱」を打ち出し、ヒートアイランド対策の柱のひとつとして地表面被覆の改善を挙げ、都市域における水と緑の空間の確保を推進している。さらに、地方自治体においても、例えば東京都は 2001 年から敷地面積 1,000m² 以上の民間施設と、250m² 以上の公共施設を対象に、ビルを新築・改築する場合に屋上緑化を義務付ける条例を定め、2015 年度までに 1,200ha を緑化する目標を掲げている。緑地整備や屋上緑化には地表面熱収支の改変により周辺気温の上昇を抑制する局地気象的な効果が、壁面緑化には日傘により建築物内に対して熱負荷を軽減する微気象的な効果が、期待される。すなわち、環境負荷の少ないヒートアイランド緩和策として、建築物の屋上や壁面に植栽を施す「屋上・壁面緑化」は注目を集めており、社会・経済の中心が過度に集中し、大規模な緑地を新たに造成することが困難である都市域において、屋上・壁面緑化によるヒートアイランド対策は、エネルギー効率の向上、環境改善効果

などに重要な役割を期待されている。しかしながら、緑化によるヒートアイランド緩和効果や植生の状態を評価する指標や方法は確立されておらず、現在では屋上緑化等の工法技術開発が先行するものの多くの混乱と失敗があるのが現状である (日本学術会議, 2007)。

植物種や緑化システムの形態によって、期待される暑熱軽減効果は異なる。また、社会機能を高度に集積させた都市では、生活や産業その他に必要な水を遠くの水源地に依存しており、日本人一人当たりが使える水量は世界平均の 1/4 程度、首都圏ではそのさらに 3 割程度に過ぎない。すなわち、都市における空間緑化により得られるヒートアイランド緩和効果 (暑熱緩和効果) と環境コストとして必要な水資源量を、定量的かつ統一的な方法で評価する必要がある。

2. 研究の目的

本応募研究では、ア. 都市キャノピー内の緑地環境における放射・熱環境評価モデルの構築、イ. 植生の水消費量の算定法の確立、ウ. ヒトの温熱感覚を基準とした都市熱環境評価方法の確立、の 3 点を目的とする。すなわち、熱・水収支の観点から都市緑地の暑熱緩和効果と水利用効率の定量的な評価を行い、公共・私有スペースの協働的な緑地空間の形成により、緑の暑熱緩和機能を最大限に生かした「クールシティ」を実現するための知見を得る。

これまで、都市域における緑地や緑化物の暑熱緩和効果の評価は、事例的な熱収支解析や表面温度、室内温度の測定に基づいて、定性的に蓄熱の緩和効果を議論する例が大多数であり、消費された水量 (=水資源利用率) についてはほとんど議論されてこなかった。

本研究では、樹木を主体とした大規模な屋上緑化物が有する暑熱緩和効果の定量的な評価と、水資源の利用効率の評価を同時に行い、灌水コストに対する暑熱緩和効果について評価する。すなわち、低環境負荷、低コストで樹木を主体とした屋上緑化を行うためデータと知見が得られることが期待できる。

地表面状態が複雑な都市域では、熱収支の評価を行うための微気象観測で考慮すべきフェッチを確保することすら困難であり、地表面の熱収支に基づく緑化物の暑熱緩和効果の評価には限界がある。人間の活動空間として都市域を考えた場合、暑熱ストレスを評価する指標は、人間を基準とした方が直感的に理解し易い。研究代表者は人体熱収支モデルに基づき、都市域の屋外気象環境に人間が暴露した場合に感じる熱ストレスを表現する指標として、標準的な体格の成人男性が T シャツ程度の軽装で 10 分間立っていた場合、発汗により下げる必要がある体温を「暑熱ストレス指数」と定義して提案している (Takayama et al. 2008a; 2008b)。「暑熱ストレス指数」は一般的によく用いられる新標

準有効温度(SET*)などより導出が簡便で、しかも日傘効果を含めた都市キャニオン内における複雑な日射環境や風速条件をより詳細に取り込み可能である。

また、既存の研究では未解決であった、幾何構造が複雑な都市域街区における気象環境の把握、植物の量的・質的状态の市街地広範での測定・データ収集、といった課題に対して、本研究ではこれまで研究代表者が研究を行ってきた、都市域における移動気象観測と固定気象観測を併用した温湿度分布推定法(高山ら,2009)、日射量成分推定法(Sanuki et al. 2009)を、人工衛星を使った都市域の地表面熱収支解析に適用することで解決し、入力する日射エネルギーに対して都市域に点在する緑地や大型屋上緑化建造物が有する暑熱緩和効果が、実際どの程度であるか明らかとする。

3. 研究の方法

(1)実験対象とする壁面緑化の施工

7階建てRC造建物の6階南壁面テラスに登攀型の壁面緑化「緑のカーテン」を設置した。2011年6月7日に縦36cm×横76cm×高さ37cmの貯水型プランタ(日産緑化社製せわいらず;木製)を5基と市販の園芸用ポット(容量13.5リットル,口径28cm;プラスチック製)13個にそれぞれ、5株と1株ずつ計38株のノアサガオ(*Ipomoea indica* cv.)を移植した。その際、1株あたりの土壌が10リットルになるように調整した。10cm格子の幅3.6m×高さ6.0mのネットを7階テラスに固定し、ノアサガオの蔓をネットに沿って誘引した。植生が登攀して緑化面となった部分の高さは4.24mである。貯水式プランタと園芸用ポットに対しては、タイマー式の自動灌水装置により十分な量を灌水し、定期的に液肥(住友化学社製住友液肥1号)を与えた。

(2)貯水型プランタによる水消費量の測定

貯水型プランタ2基について、給水タンクとプランタ貯水タンクの水位変化、土壌の体積含水率を測定した。貯水型プランタには1日2回(7時と19時)、10~30分間給水タンク(容量20リットル)から灌水が行われる。土壌部の底板には数か所の穴が開けられており、その下には最大水深17cmの貯水タンクがあり、土壌の下面との間で吸水・下方浸透が起こる。圧力式水位センサ(ケラー社製PR-46X)を、給水タンクおよび貯水タンクにそれぞれ差し込み、水位を10秒間隔で測定し、前後5分間の移動平均より1分毎の測定値を得た。また、土壌の体積含水率を土壌水分計(DECAGON社製ECHO-10)で2分間隔に測定した。テラスに吹き込んでくる雨量を転倒マス型雨量計で測定した。

(3)気象観測

6階テラスにおける気温(),相対湿度(%),風速(ms⁻¹),壁面日射量(Wm⁻²)を、2011年8月20日から9月26日まで測定した。気温と相対湿度はT&D社製TR-72Uで2分間隔に測定し、前後4分の移動平均より2分毎の観測

値を得た。風速はGILL社製SonicWindで日射量はHukusflux社製CHF-LP02で、それぞれ10秒間隔に測定し、前後5分間の移動平均より1分毎の観測値を得た。

(4)壁面緑化植物の観測

実験期間中6階部分で4回、緑化壁面に枠(30cm×30cm)を付けて枠内の葉数を数え、各葉の葉長および葉幅を定規で測定した。また、7階部分では9月13日に同様に枠をつけ、枠内すべてを摘葉しスキヤナで読み込み、解析ソフトLIA324)を使って葉長・葉幅と個葉面積を測定した。実験終了日とした11月4日には、「緑のカーテン」のすべての葉を採取し、全葉の生鮮重量を電子天秤で測定した。摘葉した葉から約50枚ずつ5袋分合計257枚を無作為に抽出し、生鮮重量を電子天秤で測定し葉1枚あたり平均重量を算出した。全葉の生鮮重量を葉1枚あたり平均重量で割り、11月4日における緑のカーテンの全葉数を約1466枚と推定した。9月13日の7階部分でサンプリングした葉65枚と11月4日に無作為に抽出した257枚の葉合計322枚を使って、葉長×葉幅を説明変数、個葉面積を目的変数とした回帰式を導き、6階部分における葉面積を求めた。

(5)夏季の市街地における気象観測

都市域における気温を2分間隔で観測した。測器はTR-72Ui(T&D社製)を用い、地上高1.5mにソーラパネルで駆動する通風ファンを備えた放射除けを取り付け、感部を内蔵した。観測地点は点在する緑地16地点(AF, V-01~V-15)、市街化区域24地点(U-00~U-23;道路沿い3点、交差点16点、河川橋梁上5点)の計40地点である。得られた2分毎の測定値と前後4分のデータから移動平均を算出し、これを観測データとした。日界を8時とした10分毎の観測データを使って、福岡市の市街化区域の8月における、昼間最高気温と夜間最低気温の分布の特徴を調べた。例えば、8月1日の8:00から翌2日の7:50までの10分毎の気温観測データにおける最高値、最低値を、それぞれ8月1日の昼間最高気温、夜間最低気温と呼ぶ。以下、9月1日の7:50までの気温観測データから8月の各日について、昼間最高・夜間最低気温を算出した。

(6)土地利用因子

ヒートアイランド現象を助長あるいは緩和すると思われる要因を、18種類の土地利用因子として数値化した。土地利用に関するデータとして、基盤地図情報数値標高モデル5mメッシュ、基盤地図情報縮尺レベル2500の水涯線、道路縁、建築物の外周線(国土地理院,2013)を水域グリッドの作成のために使用した。また、国土数値情報都市地域土地利用細分メッシュデータ(国土交通省,2013)を、市街化グリッド(高層建物、工場、低層建物、低層建物密集地、道路)の作成のために使った。土地利用因子は、沿岸・内陸の立地条件および河川に関する因子(LU1~LU6, LUD2)

都市緑地に関する因子(LU7, LUD1) 市街化条件に関する因子(LU8~LU16) の3種類に分類される。

8月の各日について、昼間最高気温および夜間最低気温の全地点平均を算出し、各観測点における昼間最高気温と夜間最低気温との偏差を調べた。18種類の土地利用因子を説明変数 X_1, \dots, X_n とした重回帰分析を行い、採用された因子から昼間と夜間の気温分布を支配する要因について考察することとした。

4. 研究成果

近年、登攀型の壁面緑化植物として急速に普及しているノアサガオを使って、植栽面の面積に対して約11倍の葉面積を繁茂させた。この壁面緑化物の水消費量の日平均値は、1日あたり18.4mmであった。気象条件のみに支配される基準蒸発散量に対する水消費量の比を水消費量率とした時、同期間における水消費量の最大値は15程度だった。水消費量率の最大値15に対する日々の水消費量率を標準水消費量率として、日平均風速、日平均土壌体積含水率、日積算壁面日射量、対地葉面積指数の環境因子を説明変数とする推定モデルを構築した。日々の水消費量の実測値に対する、モデルの推定値の絶対平均誤差は6.1%程度と良好な結果が得られた。

8月の福岡市の市街化区域を対象として、点在する公園緑地と市街化区域を含めた定時気温観測を実施した。地理情報システム(GIS)を活用して、ヒートアイランドの形成に関連が深い土地利用条件を数値化し、気温分布との関連について調べた。昼間最高気温は海風が卓越する気温条件下で地点間のコントラストが大きく、市街地を南北に流れる那珂川の河口から遠く、また周辺の市街化率が大きくなる程高くなる傾向にあった。しかし、観測点が緑地および河川上に位置する場合、その上昇が抑えられる。夜間最低気温は海岸から遠い場所や緑地で低くなり、緑地面積が大きい程その傾向は顕著なる。昼間最高気温の場合よりモデルは頑健であり、緑地周辺における低温が局所的かつ明瞭に出現していることを反映していた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2件)

Naru TAKAYAMA, Koji KAWAMURA, Haruhiko YAMAMOTO, Shohei NOBORI and Yosuke TOMINAGA : Quantitative Assessment of Plant Water Consumption in the Summer after Creating a Green Curtain by using Ivy Morning Glory on a South-facing Wall , Journal of Agricultural Meteorology, 査読あり, 70 (1),55-67, 2014 DOI: 10.2480/agrmet.D-13-00007.

高山 成・吉越 恆・山本晴彦・原田陽子, 福岡市の市街化区域における8月の気温分布について,日本農業気象学会近畿支部講演論文集, 査読なし, 6, 16 - 21, 2013

年.

〔学会発表〕(計 4件)

Naru TAKAYAMA, Koji KAWAMURA, Haruhiko YAMAMOTO, Shohei NOBORI, Yosuke TOMINAGA, Mikihiro NAKAI and Ryota NANBARA: QUANTITATIVE EVALUATION OF WATER REQUIREMENT OF PLANTS BY SOUTH WALL GREENING OF VINES WITH SIMPLE NET IN SUMMER, International Symposium on Agricultural Meteorology (ISAM2013), 2013 Mar-27, Nonoichi.

高山 成・河村耕史・山本晴彦・登翔平・富永洋祐, 夏季に蔓性植物ノアサガオにより建物南側の壁面を緑化したときの水消費量について,日本農業気象学会近畿支部2012年度大会, 2012年12月1日, 大阪.
高山 成, 2012: 地域からの脱温暖化 - 都市気象の観点から -. 日本農業気象学会2012年全国大会 International Symposium on Agricultural Meteorology 2012 (ISAM2012), and WMO-ISAM Joint Symposium, 2012年3月15日, 大阪.

高山 成・山本晴彦・江藤惇之亮, ノアサガオを使った夏季の壁面緑化による建築物室内に対する熱負荷軽減量の算定, 日本農業気象学会近畿支部, 2011年12月3日, 大阪.

〔その他〕

ホームページ等

大阪工業大学環境工学科 HP

<http://www.oit.ac.jp/env/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

高山 成 (TAKAYAMA Naru)

大阪工業大学・工学部・講師

研究者番号: 40403373