

皇居の暑熱環境緩和効果に関する研究

環境工学—都市環境・都市設備

大規模緑地 暑熱環境緩和効果 皇居

1. 研究目的

ヒートアイランド現象が東京を始めとする様々な都市で起こっている中、夏季において大規模緑地、水辺等のクールスポットが周辺地域に対して暑熱環境緩和効果を有していることが報告されており、クールスポットを活用した周辺地域における熱環境の改善が期待され、クールスポットの重要性が高まっている¹⁾。

皇居は周辺に商業業務地区を抱えつつ、100ha 近くの広大な緑地面積を有し²⁾、クールスポットとして皇居周辺の暑熱環境緩和に大きく寄与していると考えられる。

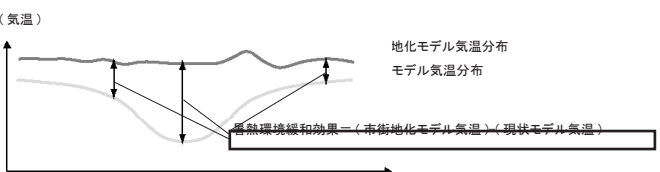
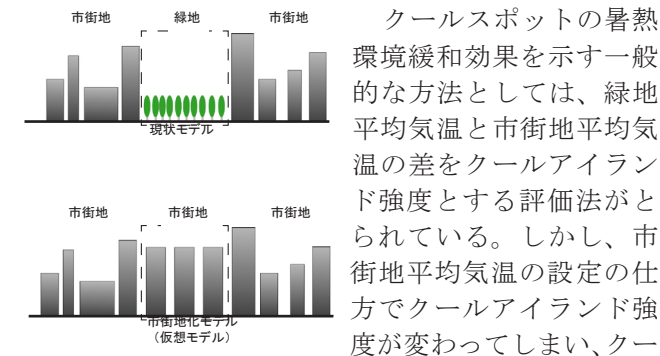
そこで本研究では、皇居を含む4km×4kmの範囲においてシミュレーションにより、皇居の周辺市街地への暑熱環境緩和効果を把握する。千代田区の皇居を除く地域の地表面被覆と、建蔽率、建物高さ、建物幅等の建築形態の平均化したものを皇居のエリアに挿入した仮想モデルを作成し、現状モデルと比較を行う。夏季において皇居が周辺市街地にどれだけ暑熱環境緩和効果を及ぼしているかを定量的に評価し、皇居のクールスポットとしての位置づけを明確化することを目的とする。

2. 本研究の位置付けと現状調査

2-1 クールスポットの暑熱環境緩和効果

ヒートアイランド現象は広域的なものであるが、近年更に顕著に都心部において現れている。しかし、ヒートアイランドの中において、周辺より気温の低い緑地や河川等が存在し、周辺市街地の暑熱環境を緩和している。このようなものをクールスポットと総称する。尚、ヒートアイランドの分断や緩和を行う大規模なクールアイランドとは区別するものとする。

2-2 従来研究と本研究の位置付け



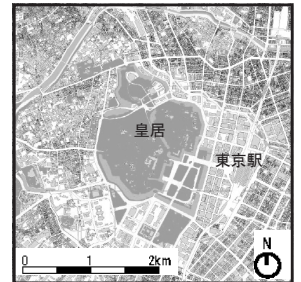
準会員○宮内 啓輔^{*1} 正会員 高橋 信之^{*4}
正会員 篠田 友博^{*2} 名誉会員 尾島 俊雄^{*5}
同 増田 幸宏^{*3}

ルスポットの暑熱環境緩和効果の把握が難しいという問題点がある。本研究では、緑地に周辺市街地の地表面被覆と建築形態の平均化したものを挿入したモデルを、市街地化モデル(仮想モデル)として設定し、現状モデルとの各地点における気温差を、クールスポットの暑熱環境緩和効果とするものである(図1)。

2-3 対象エリアの設定と現状調査

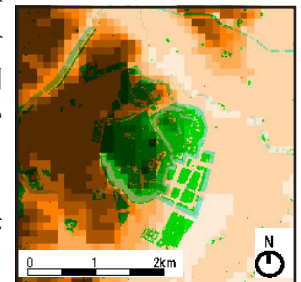
2-3-1 対象エリアの設定

本研究では、東京都23区内に在りながらも、都市計画公園・緑地として100ha近くの広大な面積を有している皇居を対象とし、4km×4kmの範囲で暑熱環境緩和効果を検証する(図2)。



2-3-2 地形分析

標高分布は、冷気の流出や排熱の流れに影響を及ぼすと考えられるために調査する。国土地理院の数値地図50mメッシュ(標高)を用いて、UCCSでは100mメッシュで行うことを考慮に入れて、100mメッシュで標高分布を示す(図3)。



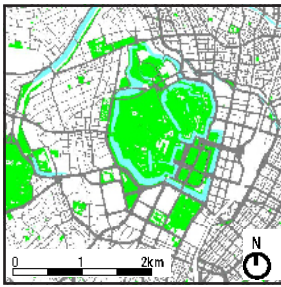
対象エリアの東側が0~5m、西側が5~22.5mの音が多くなっており東西に走のある地形となっている。

2-3-3 土地利用と建物用途

東京都GIS(H13、14年度版)を用いて、対象エリアにおける土地利用と建物用途の分布と割合を調査する。

地表面被覆は都市の熱環境に大きな影響を及ぼす要素の1つであると考えられるため、本研究では土地利用を調査する(図4.1)。対象エリアにおいて、皇居周辺に緑地・水面が多く集中している。緑地は対象エリアの13%の面積を占めており、23区の緑地面積の平均割合である8%よりも大きな値となっている(図4.2)。

また建物用途は、地域の排熱量の原因や夜間における建物の蓄熱による影響等を把握するために調査する(図5.1)。事務所建築が最も多く半分を占め、南東はほぼ事務所建築が占めている。また千代田区という土地柄から官公庁施設を始めとする公共施設が2番目に多く、到るところに存在している。また北西には住宅が集中しているが、対象エリア全域においては23区



道路 水面
緑地 その他

図 4.1 土地利用図

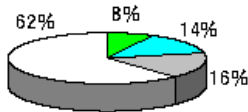
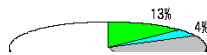
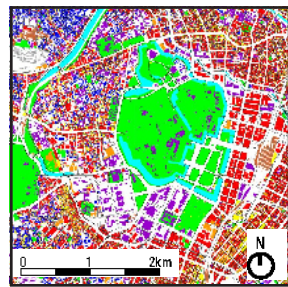


図
上



事務所建築 工業建築 住宅
公共建築 宿泊・娯楽建築 その他
商業建築

図 5.1 建物用途図

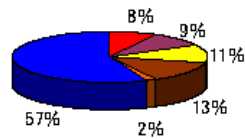
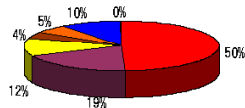


図 5.2 建物用途割合（建築面積）

の平均値より小さくなっている（図 5.2）。

2-3-4 建物排熱分布

排熱は、昼夜を通してヒートアイランド現象悪化の影響要因のひとつとして挙げられる。ここでは一般的に日最高気温を観測する 14 時の排熱の状況を確認する。その際、独立行政法人建築研究所で作成された用途別規模別時刻別（夏期）排熱量原単位等を用いて算出した³⁾。

建物顕熱排熱の分布について 100m メッシュで示したものが図 6 である。南東の地域は建物顕熱排熱量が非常に大きい。また対象エリア内には、地域冷暖房供給エリアが多く存在するため、顕熱排熱量が少ないところに、プラントを含む局所的に排熱量の大きいメッシュが存在する。緑の多い皇居内においても、宮内庁や住宅等も存在するために、排熱量が周辺市街地と同様に見られるメッシュもある。

建物潜熱排熱の分布について 100m メッシュで示したものが図 7 である。南東の地域は顕熱排熱量同様、建物潜熱排熱量も大きい。一方、北西側の地域では住

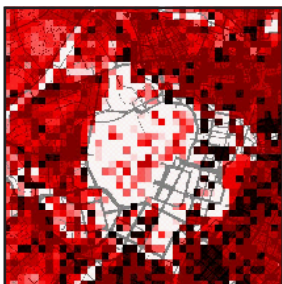


図 6 建物顕熱排熱分布図
（夏期 14 時）

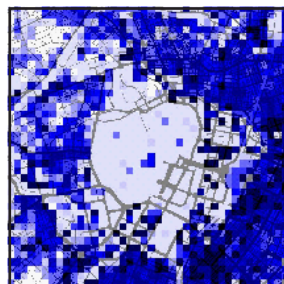


図 7 建物潜熱排熱分布図
（夏期 14 時）

宅が多く、潜熱排熱量は負の値を示している。

3. シミュレーションモデルの設定と UCSS 解析

3-1 UCSS（都市気候予測システム）について

数値モデルを利用する際、目的や対象スケールに適切だと思われるモデルを使用する必要がある（表 1）⁴⁾。本研究では都市キャノピーモデルが適当であり、シミュレーションソフトは独立行政法人建築研究所足永研究室で開発された UCSS を使用する。入力パラメータ（変動値）は表 2 のようになっており、気温、風向風速等

表 1 解析スケール別モデル概要

モデル名称	解析スケール	モデルの特徴	主な入力条件
ラフネスモデル	大	粗度を有する平坦面として一括	土地利用に関する物性値や人工排熱を指定
都市キャノピーモデル	中	建物群をパルクに表現	建物群の条件や、土地被覆構成に関する物性値を指定
CFD	小	建物等の形状配置を表現可能	形状配置や、個々の土地被覆に関する物性値を指定

表 2 入力パラメータ（変動値）

項目	計算式	参照データ	
建物	グロス建築率	測	GIS
	建物幅	測	GIS
	建物高さ	測	GIS
	建物構造	RC 測	GIS
	建物用途	事務所・住宅・商業の中から選択	GIS
土地	水面面積率	測	GIS
	陸地蒸発面積率	測	GIS
	樹木面積率	測	航空写真
排熱	大気顕熱排熱	測	GIS 測
	大気潜熱排熱	測	GIS 測
気象	風向・風速	測	測 035 年
	初期気温	付加計算前の気温	測 035 年

*建物排熱分布図作成時同様、独立行政法人建築研究所足永研究室で作成された用途別規模別時刻別排熱量原単位（夏期）を用いて算出

を出力する。

3-2 シミュレーションモデルの設定

シミュレーション条件を表 3 に示す。シミュレーションは、現状モデルと市街地化モデルの 2 種類を扱う。市街地化モデルは、皇居に仮想の市街地を挿入したモデルとする（図 8）。この際、本研究における皇居を、皇居、皇居東御苑、皇居外苑、鳥ヶ淵戦没者墓園、北の丸公園を有する、用途地域が都市計画公園・緑地に分類される領域とする。仮想の市街地を千代田区の皇居を除いた地域として、建物高さ、建物幅、排熱等の各々の平均値を与えたものとする。市街地化モデルの挿入された地域の各メッシュの主な設定値は表 4 の通りで

表 3 シミュレーション条件

4km × 4km	100m × 100m	27.20℃	11時00分からの平均値	8/4午前5時からの5分間	ホスデシメは行わない
-----------	-------------	--------	--------------	---------------	------------

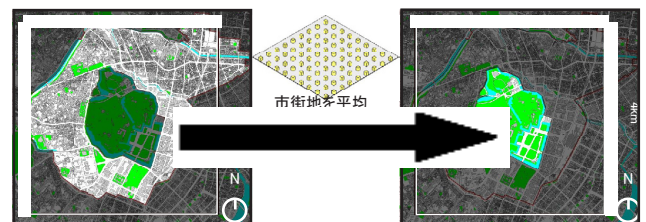


図 8 市街地化モデル概略

表 4 市街地メッシュ条件

緑被率	建築率	水面率	建物高さ	建物幅	建築用途	建築構造
0.083	0.34	0.022	26.052m	21.252m	事務所	RC 構

ある。

3-3 解析結果の評価指標

屋外熱環境の評価指標として、WBGT(Wet Bulb Globe Temperature) やヒートインデックスがあるが、どちらも暑熱環境の不快さあるいは安全限界を判定するものであり、快適環境設計用のものではない。本論文のように、緑地による暑熱環境緩和効果を把握することが目的である場合には、気温によって評価を行うことが妥当であると考えられるため、以下の考察・分析等においては気温を評価指標として用いることとする。また、人間の生活空間を考えるものとして、気温は高さ1.5mのものを使用することとする。

3-4 モデルの解析結果(気温日変化)

3-4-1 現状モデルにおける気温日変化

現状モデルにおける気温日変化(全メッシュの最高気温、平均気温、最低気温)は図9のようになる。最高気温、平均気温、最低気温の最大値は、全て14時となった。また最小値は、早朝に現れていることが分かる。日中よりも、夜間・早朝において、最高気温、平均気温、

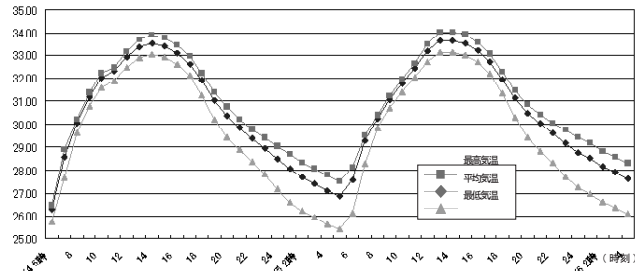


図9 現状モデル気温日変化(全メッシュ)

最低気温の差が大きくなった。

次に、現状モデルにおいて皇居メッシュと市街地メッシュの平均気温を比較することにより、皇居の影響を考察する。この場合においても、両メッシュの気温差は昼間より、夜間・早朝の方が大きくなっている

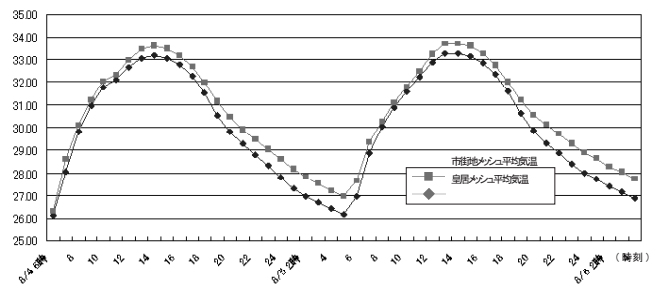


図10 現状モデル気温日変化(皇居メッシュ、市街地メッシュ)ことが分かる(図10)。

3-4-2 市街地化モデルにおける気温日変化

市街地化モデルにおける気温の日変化(全メッシュの最高気温、平均気温、最低気温)は図11のようになった。現状モデルと挙動は似ており、市街地化モデルにおいても最高気温、平均気温、最低気温の最大値は全て14時となった。現状モデルと比較すると、最高気温、平均気温、最低気温の間隔が狭くなっており、これらの変化は皇居を市街地化したことによる影響であると考

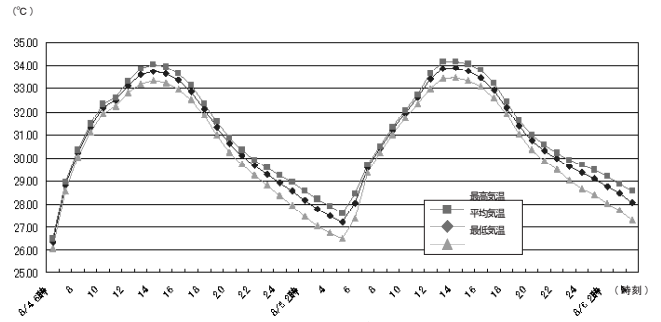


図11 市街地化モデル気温日変化

えられる。

3-5 モデルの解析結果(面的気温分布)

気温分布を一定時刻において面的に把握する。シミュレーション時間内で最高気温を示した8月5日14時と、夜間の代表として、8月6日2時を選定して二つの時間帯における対象エリアの面的気温分布を評価する。

3-5-1 14時における気温分布

14時において、現状モデルでは平均気温33.65度、最高気温34.02度、最低気温33.14度となった(図12)。対象エリアの市街地においては東側が高温域、西側が低温域と気温分布が比較的明瞭に分かれた。これは、東側に排熱の多いビル群などが存在することや、西側には外堀などのクールスポットがあること、住宅が多いということが考えられる。

市街地化モデルにおいては、平均気温33.87度、最高気温34.17度、最低気温33.44度となった(図13)。皇居が市街地化されると、東側の高温域が西側の方に

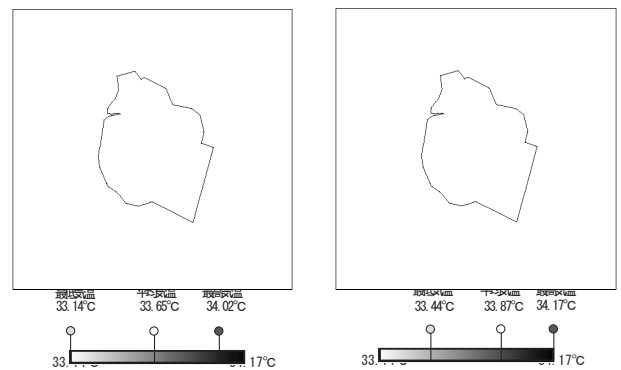


図12 現状モデル気温分布(14時)

図13 14時市街地化モデル気温分布(14時)

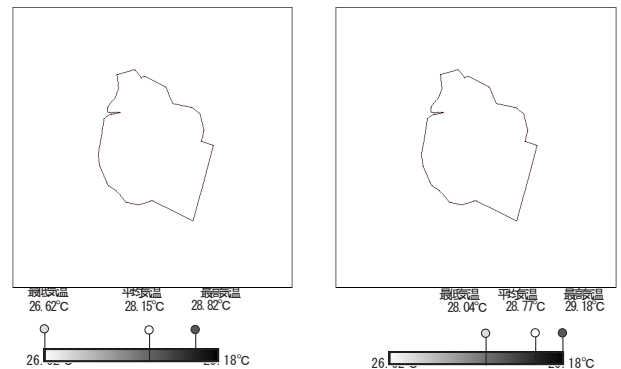


図14 現状モデル気温分布(2時)

図15 市街地化モデル気温分布(2時)

広がってきていることが分かる。

3-5-2 2時における気温分布

2時における現状モデルの平均気温は28.15度、最高気温は28.82度、最低気温は26.62度となった(図14)。また、市街地化モデルにおいては平均気温28.77度、最高気温29.18度、最低気温28.04度となった(図15)。14時とは異なり、国会議事堂前や、日比谷公園がクールスポットとして局所的に涼しい場所を形成していることが分かる。

4. 皇居の暑熱環境緩和効果の定量評価と分析

4-1 本研究における評価手法

本研究では現状モデルと市街地化モデルを用いて、その二つのモデルの気温差をもって、皇居の暑熱環境緩和効果を評価する。

4-1-1 気温差の日変化

気温差の時間変化(全メッシュの気温差の平均、皇居メッシュの気温差の平均、市街地メッシュの気温差の平均)は図16のようになった。気温差は2時において最大となり、昼間より夜間のほうが皇居の影響が大

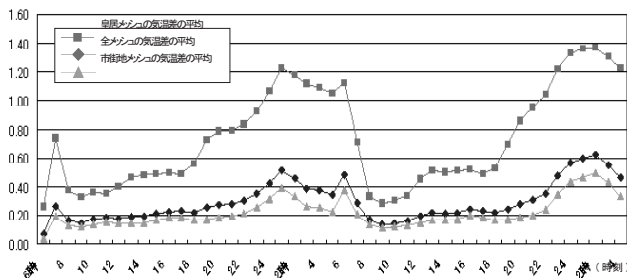


図16 気温差の日変化(皇居メッシュ、全メッシュ、市街地メッシュ)

きいと言える。本論文では皇居の市街地に及ぼす影響に着眼するために、市街地メッシュにおける気温差をみると図17のようになった。気温差の最高は最小でも0.3度程度、最大で1.1度程度になった。また、気温差の平均は0.2

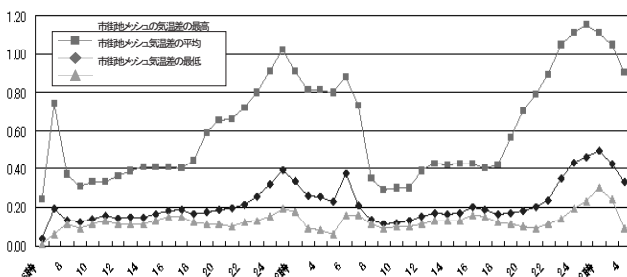


図17 気温差の日変化(市街地メッシュ)

4-1-2 気温差の面的分布

最高気温を示した8月5日14時と、市街地メッシュにおいて気温差の最高、平均、最低ともに最大となった8月6日2時の気温差の分布を面的にみる。

14時における気温差の面的分布は図18のようになり、市街地においては最高0.42度、平均0.17度、最低0.13度となった。東京の夏季の日最高気温が100年で1.4度上昇したことから⁶⁾、単純比較すると、10年分の上昇気温にあたる0.14度を基準として考えてみ

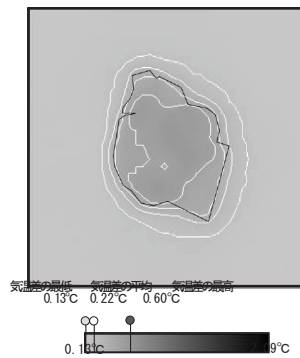


図18 気温差の面的分布(14時)

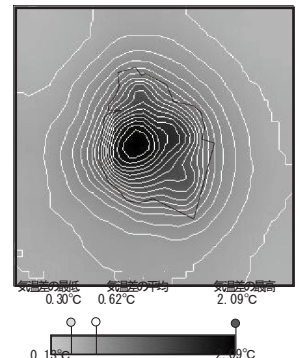


図19 気温差の面的分布(2時)

ると、市街地メッシュにおいて0.14度以上の気温差が生じたのは98.5%にのぼり(図20)、10年分の上昇気温をほぼ全域において皇居によって抑えられていると言える。

2時における気温差の面的分布は図19のようになり、市街地においては最高1.11度、平均0.50度、最低0.30度となった。2030年時点で想定されるヒートアイランド対策の導入による、東京23区夜間平均気温低下量が0.2度であることや⁷⁾、東京都心部10km四方を現実的に実現可能な範囲で緑化していった場合において、日平均気温、日最低気温ともに0.3度の気温低下が得られることから⁸⁾、夜間である2時において市街地で最低でも0.30度の気温差が生じていることは、皇居の影響が極めて大きいと言える。

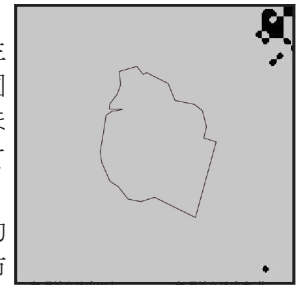


図20 評価図(14時)

5. 結論
現状モデルと仮想の市街地化モデルを用いて緑地の暑熱環境緩和効果を定量的に把握する手法を提案し、皇居におけるケーススタディを行った。その結果、皇居の存在は、大きな暑熱環境緩和効果を対象エリアの広い地域にもたらしていることが分かった。

5. 結論

現状モデルと仮想の市街地化モデルを用いて緑地の暑熱環境緩和効果を定量的に把握する手法を提案し、皇居におけるケーススタディを行った。

その結果、皇居の存在は、大きな暑熱環境緩和効果を対象エリアの広い地域にもたらしていることが分かった。

謝辞

本研究でのUCSS解析にあたっては、早稲田大学と独立行政法人建築研究所及び国土交通省国土技術政策総合研究所の共同研究「市街地の住環境向上手法に関する共同研究」として取り組んだものである。建築研究所足永靖信上席研究員、国土技術政策総合研究所屋屋浩司主任研究官(国土交通省国土技術政策総合研究所)に御指導・御協力頂きました。この場をお借りして御礼申し上げます。

また本研究において、小澤一郎教授(早稲田大学)に御指導頂き、尾島研究室の岩本麻利氏、深山尚央氏に御協力頂きました。ここに記し、深く感謝の意を表します。

(参考文献)

- 1) 社団法人 環境情報科学センター：平成17年度「都市緑地を活用した地域の暑熱環境改善構想の検討」調査報告書、平成17年度環境省諸負業務報告書、2006.3
- 2) 東京都の公園緑地マップ2002
- 3) 足永靖信ほか：冷熱源機器の導入割合を考慮した空調システムおよび関連機器の地域排熱量に関する研究、空気調和・衛生工学会論文集、86号、pp.77-86、2002
- 4) 足永靖信：ヒートアイランドのメカニズムとシミュレーション、環境管理、Vol.39、No.6(2003/6)、pp.537～542
- 5) 尾島研究室2005年実測データ
- 6) 三上 岳彦：都市のヒートアイランド現象とその形成要因 - 東京首都圏の事例研究 -, 地学雑誌、Vol.114、No.3(2005)(通号1000)、pp.496～506
- 7) 田村英寿ほか：東京23区におけるヒートアイランド対策導入効果の数値予測、東京都環境科学研究所年報、Vol.2005、pp.10-18

*1 早稲田大学理工学部建築学科 *2 早稲田大学大学院修士課程 *3 早稲田大学理工学総合研究センター講師・博士(工学) *4 早稲田大学理工学総合研究センター教授・工博 *5 早稲田大学教授