

# 熱環境に配慮したまちづくりのための環境情報の可視化システムの開発

# DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTAL INFORMATION VISUALIZATION SYSTEM FOR SUPPORTING THERMAL ENVIRONMENT DESIGN IN CITY PLANNING

佐藤理人 — \*1 梅干野 晁 — \*2  
浅輪貴史 — \*3

Rihito SATO — \*1 Akira HOYANO — \*2  
Takashi ASAWA — \*3

キーワード:  
3D GIS, まちづくり, 熱環境, 可視化システム

Keywords:  
3D GIS, City planning, Thermal environment, Visualization system

This study develops an environmental information visualization system for supporting thermal environment design in city planning. This system is constructed on a all-purpose GIS software. As visualization methods of 3D models, wire frame, surface model and solid model are applied according to a target scale or the characteristics of environmental information. The developed system is able to display urban planning data, landscape, thermal environment and historical data in multi-scale and multi-temporal using the 3D GIS.

## 1. はじめに

これからのまちづくりにおいては、利便性や経済性、防犯・防災性、地域活性化等の側面に加えて、環境負荷の低減や快適性の向上も重要な課題となる。中でも熱環境は、ヒートアイランド現象や建物のエネルギー消費、生活空間の熱的快適性等、都市における環境負荷と快適性の双方と密接に関わることから、まちづくりの中でも効果的な対策を検討していくことが求められる。これまでも都市・地域スケールを対象としたクリマアトラスの利用<sup>1)</sup>や、単棟レベルで熱環境に配慮した設計事例<sup>2)</sup>はあるが、まちづくりが行われる街区スケールで熱環境への配慮の議論がなされた事例は少ない。これに対し筆者らは、街区スケールで建物・地面・緑に関する空間形態や構成材料を表現し、全表面温度分布を算出することが可能な3D CAD対応熱環境シミュレータ<sup>3)</sup>を開発した。そして、実在市街地を対象とした熱環境の分析<sup>4)</sup>や住環境の維持・管理支援を目的とした環境データベースの整備等へと活用してきた<sup>5)</sup>。

そこで本研究では、数値解析による熱環境情報に加え、汎用GIS (Geographic Information System) を用いて多様な街区の特性情報や、対策手法に関する情報といった環境情報を可視化し、同一画面上で参照できる可視化システムを開発したので報告する。

## 2. 3D GISによる可視化システムの目的

効果的な熱環境対策を具体的にまちづくりの中で議論するためには、街区内の他の問題点や対策手法の適用可能性といった情報を相互に参照し、多角的な観点で検討できることが求められる。また図1に示すように検討する内容に応じて、A. 街区全体のまちなみや周辺環境の影響をみるための情報 B. 敷地単位や建物単位で対策位置を検討するための情報 C. 具体の熱環境対策位置や対策手法を検討するための情報というように該当する空間スケールが異なることを考慮することが重要である。加えて、それぞれの検討を行う際に、D. 必

要な情報の抽出方法や E. 時系列のデータを提示する方法について、ワイヤーフレームやソリッドモデル、サーフィスマodel、RGB合成画像等の可視化方法を選択・切替できることが効果的である。そこで街区スケールで再現した建物・地面・緑の3D CADモデルを、汎用GISソフト (Arc GIS 9.3 3D Analyst) 上に取り込み、熱環境に配慮したまちづくりのための環境情報を上記のような利用目的に応じて様々な可視化方法で表示するシステムを開発する。

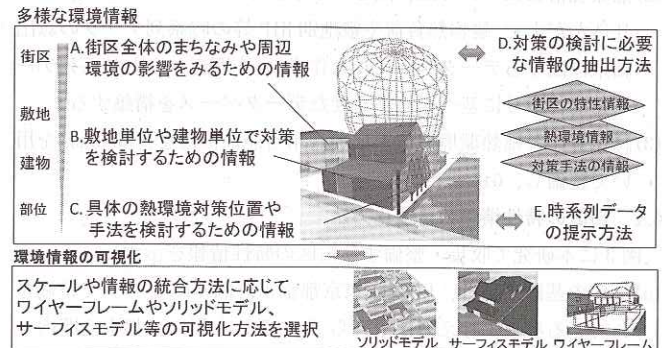


図1 環境情報の可視化システムのフレーム

## 3. 可視化する環境情報の抽出

まず熱環境に配慮したまちづくりを行う上で整備すべき情報について整理する。

### 3.1 まちづくりにおいて必要な街区の特性情報の整備

既存のまちづくりにおいて広く利用されているデータとして、1/2500 東京都都市計画 GIS データが挙げられる。この中には建物用途や階数といった各建物の基礎的な項目が整備されている。一方実際のまちづくりにおいては、その街の実情に応じて防犯や防災、活性化や交通、空地化、景観保全等キーワードとなる課題が異なる。そのため、街区の特徴を示す項目も整備が必要である。また熱環境を規定する項目の整備も熱環境の形成要因の分析に有用である。

<sup>1)</sup> 東京工業大学 特別研究員・博士 (工学)  
(〒226-8502 横浜市緑区長津田町4259-G5-2)  
<sup>2)</sup> 東京工業大学 教授・工博  
<sup>3)</sup> 東京工業大学 准教授・博士 (工学)

<sup>1)</sup> Postdoctoral Fellow, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.  
<sup>2)</sup> Prof., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.  
<sup>3)</sup> Assoc. Prof., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

### 3.2 3D CAD 対応熱環境シミュレータによる熱環境情報の整備

本研究では、まちづくりと密接に関わる熱環境情報として、前述の 3D CAD 対応熱環境シミュレータを用いた熱収支計算により、建物・地面・緑の空間形態と構成材料によって直接的に規定される全表面温度分布を求める。そして、街区や敷地単位の全表面温度分布から求まる大気への顕熱負荷を示すヒートアイランドポテンシャル (HIP) <sup>注1)</sup>、周辺地物からの長波長放射に基づく熱放射環境を評価する平均放射温度 (MRT) 分布を算出する<sup>注2)</sup>。さらに、屋外熱収支計算の結果に基づき建物熱負荷計算を行うことで、屋外空間の熱放射環境の影響を考慮した建物熱負荷量を算出する<sup>6)</sup>。

これらの評価指標を同時に表示して時系列データをスムーズに切替可能とすることで、周辺への環境負荷と熱的快適性を見比べながら、現状分析や問題点を把握することが可能なシステムとなる。

また、例えば表面温度が高温化する個所について、荷重等の各種条件を満たして緑化可能であるかといった対策手法の適用可能性に関する情報が整備されれば、効果的な対策手法の検討に有用である。

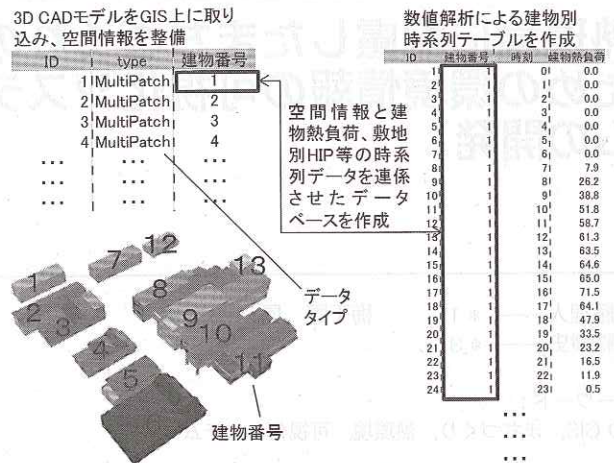


図2 時系列データの整備方法

表1 街区スケールで検討される対策手法<sup>10)</sup>

種別	対策手法
緑の活用	駐車場の緑化 建物敷地の緑化
	屋上緑化 壁面緑化 街路樹の活用
水の活用	打ち水の活用 ミストの活用 噴水・水景施設の活用
	建物被覆の親水化・保水化 舗装の保水化と散水
反射性の活用	屋根面の高反射化 遮熱性舗装の活用
人工排熱の削減	自動車排熱の削減 建物排熱の削減
	地域冷暖房システムの活用
その他	情報提供による熱中症の予防対策

ゴシック・太字部分が本ツールで表現可能な対策手法

を想定し、詳細な表現にも対応する。すなわち、景観 CAD については、表面素材画像を各部位についてテクスチャマッピングしたモデルを提示する。またその他の情報は、都市計画情報と同様にソリッドモデル及び面データとして整備する。

(c) 熱環境を規定する項目は、熱環境の形成要因を分析するために必要な情報である。ここでは、各建物または地面の日射反射率、熱貫流率、熱容量、建物熱損失係数、断面仕様、日積算受熱日射量分布を、3D CAD 対応熱環境シミュレータを用いて算出・表示する。そして、建物熱損失係数は、建物単位の違いを比較するため、ソリッドモデルを色分けして表示し、その他は部位ごとの違いをテクスチャマッピングにより色分けして表現する。

### 4.3 熱環境情報の可視化方法

3D CAD 対応熱環境シミュレータでは、15 分間隔の計算結果を出力可能であるが、本システムでは 1 時間ごとの全表面温度分布、生活空間高さの MRT 分布及び代表点 MRT、建物熱負荷、敷地別 HIP の時系列データを GIS 上に取り込み、各指標を瞬時に切替可能とするとともに、様々なスケール・視点で表示できるようにする。

図 4 に示すように、敷地別 HIP 及び建物熱負荷に関する時系列データは、街区スケールで表示した際に、敷地や建物毎の大きさを視覚的に明らかにすることで、対策を行うべき敷地や建物を示すことが望まれる。そこで建物熱負荷については、熱負荷量に合わせた大小の球体を建物上空に配置する。また敷地別 HIP については、敷地データを HIP の大小に合わせて色分けし、表示する。また全表面温度分布や生活空間高さの MRT 分布は、街区～生活空間スケールで様々な角度・視点から表示することで熱環境について議論できる。そこで、3D CAD 対応熱環境シミュレータで出力した全表面温度分布及び生活空間高さの MRT 分布をテクスチャとして取り込み、時刻別レイ

### 4. 3D GIS による可視化システムの開発

本章では上記の検討結果を踏まえ、各種情報を 3D CAD や数値解析、データシートを用いて整備し、汎用 GIS に取り込む方法を示す。

#### 4.1 環境情報の整備方法

- (1) 街区の特性情報は、後述する街区の基礎項目、街区の特徴を示す項目、熱環境を規定する項目をデータシート上に整備した結果を、GIS 上に取り込んだ 3D モデルの属性データとして付加する。
- (2) 熱環境情報については、図 2 に示すように 3D モデルを GIS に取り込んだ上で、建物熱負荷や敷地別 HIP 等の時系列データの算出結果に関するデータテーブルを作成し、空間データと時系列データを建物番号に基づき連係させたデータベースを構築する。
- (3) 緑化等の各種熱環境対策手法が適用可能な位置を、3D CAD を用いて整備し、GIS 上に取り込む。

#### 4.2 街区の特性情報の可視化方法

図 3 に本研究で収集・整備する街区の特性情報を示す。

- (a) 街区の基礎項目は、1/2500 東京都都市計画 GIS データで整備されている項目に加え、梅干野ら<sup>4)</sup>の手法を用いて都市空間内の空間形態や構成材料の違いが表面温度に与える影響を表現できる 0.2m 以上の凹凸を再現するために収集した空間形態・構成材料に係る項目を整備した<sup>注3)</sup>。これらの項目は 3 次元の建物や緑のソリッドモデルに属性データとして整備し、色分けして表示する。また地面は、2 次元の面データとして整備して表示する。
- (b) 街区の特徴を示す項目は、本研究ではその街の状況に応じて適宜整備される項目を指す。近年まちづくりの中で中心的に議論される代表例としては、防犯等の安全性や地域活性化、交通機関等への利便性、歴史的なまちなみに関わる項目等が挙げられる。ここでは後述する 5 章で事例として取り上げている歴史的なまちなみを有するが近年空地が増加し、まちの活力が衰退している街区を想定して、景観に関わる項目、空地化に関係する項目、歴史的変遷に関わる項目を、現地調査や文献<sup>7) 8)</sup>に基づき整備する。

これらの情報の中で、まちの成り立ちや変遷に関する情報は、街区スケールで現状と比較しながら表示されるのに対し、景観用 3D CAD モデルは、街区全体～生活空間スケールで表示されること

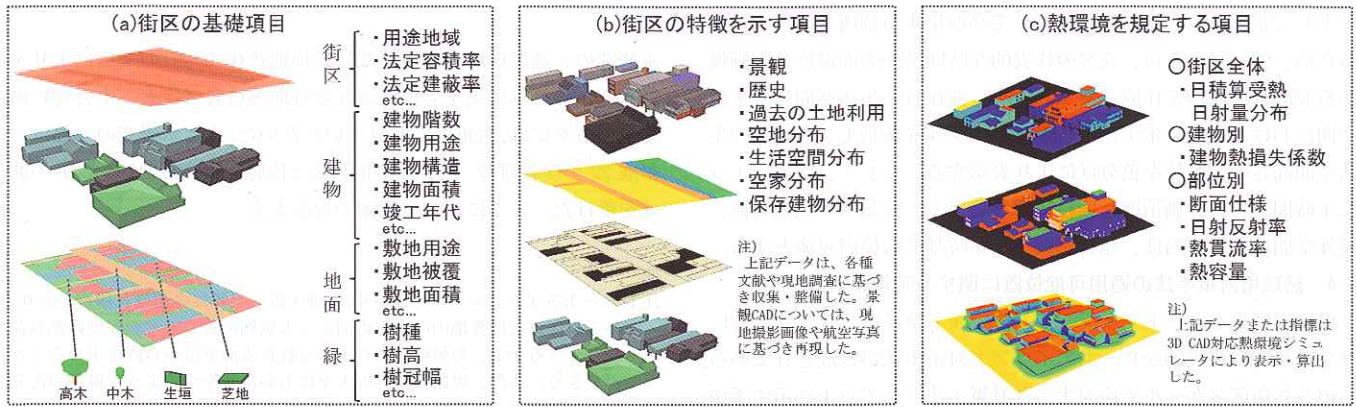


図3 整備した街区の都市計画項目・街区の特徴を示す項目・熱環境を規定する項目

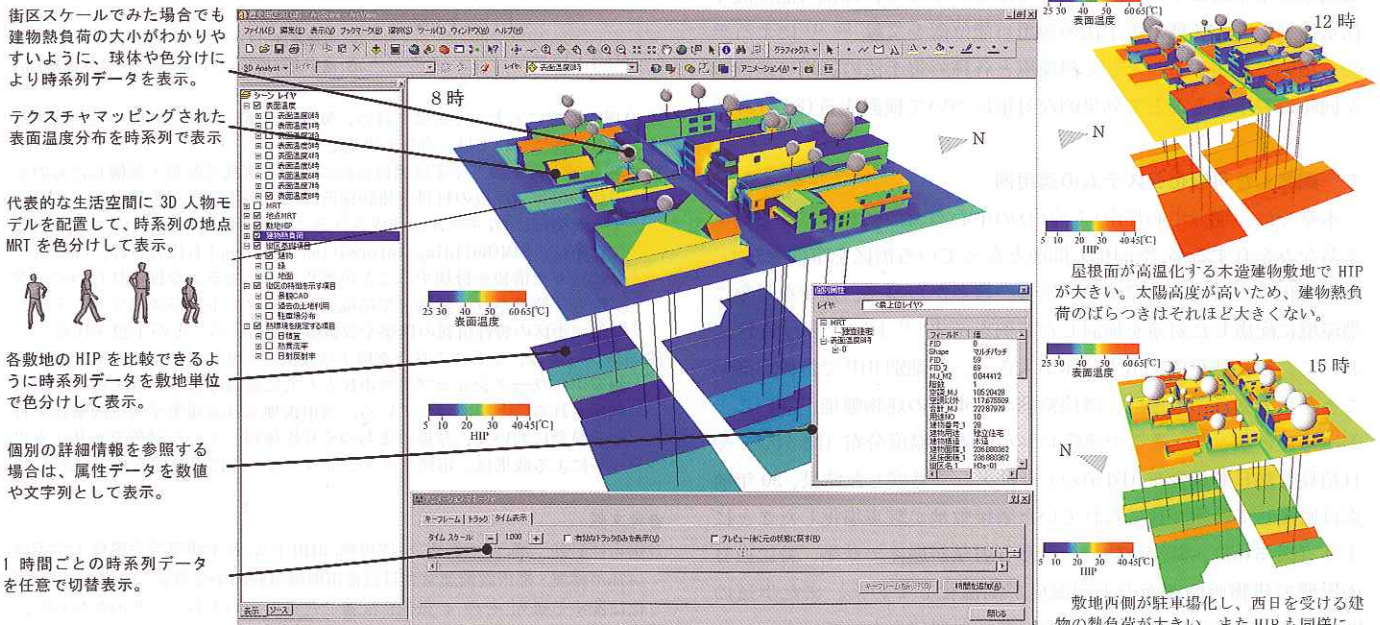


図4 現状分析を行うための画面表示例

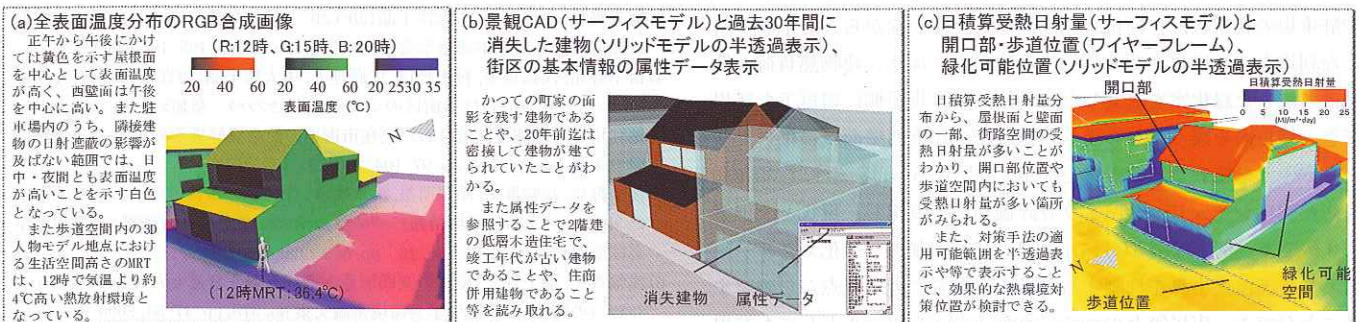


図5 効果的な熱環境対策のための可視化システム利用例

ヤとして整備する。また昼夜を通して高温化する個所を明らかにするため、朝、昼、午後、夜等の代表的な時間帯の表面温度分布画像からRGB合成画像を作成する(図5(a))。滞在者の生活空間や各生活空間におけるMRTを示すため、3D人物モデルを配置し、各地点の生活空間高さのMRT値を色分けにより表示する。そして、図4のように1時間ごとに評価指標を同時に切り替えて、大気への顕熱負荷、屋外空間の熱的快適性、建物熱負荷を多時刻でも検討可能とする。

#### 4.4 熱環境対策手法の適用可能位置に関する可視化方法

環境省によるヒートアイランド対策ガイドライン<sup>9)</sup>においては、スケール別に代表的なヒートアイランド対策手法が整理されている。このうち街区スケールで検討すべき対策手法として表1に示す手法が挙げられている。この中でも太字の項目は、本ツールで対策による効果を定量的に予測・評価可能である。そこで、緑化可能位置や保水性舗装等の各種対策手法の適用可能位置を文献<sup>10) 11)</sup>による手法を用いて抽出する。そして熱環境と各種対策手法の適用可能位置を同時に表示することで効果的な対策について検討する(図5(c))。

#### 5. 開発した可視化システムの適用例

本章では、地方中心都市(土浦市)の中心市街地にあり、歴史的なまちなみを有するが、空洞化も問題となっている街区を事例として、駐車場化した敷地を熱環境への影響の観点から調べ、夏季を対象に熱環境に配慮した対策を検討した事例を示す<sup>注4)</sup>。図4に示す街区において、建物熱負荷を示す球体が大きく、敷地別HIPで数値が高いことを示す赤色の敷地は、隣接敷地が駐車場の建物敷地が多いことが明らかとなった。そこで建物レベルに表面温度分布(図5(a))や日積算受熱日射量分布(図5(c))を拡大して考察した結果、30年前迄は密接して建物が建てられていた隣接敷地が駐車場化したことにより(図5(b))、隣接建物への受熱日射量が増えて結果、特に西日の影響で建物西側壁面の表面温度が高温化していた。また歩道のMRTも12時で気温より5℃以上高い熱放射環境となっていた。

以上を踏まえ、空地の活用方法も踏まえた対策方法として、景観や駐車場の利用状況、緑化可能位置にも配慮しながら、駐車場の新たな利用方法や屋外空間の熱的快適性向上に加え、建物熱負荷の低減に考慮した緑化案を提案した。具体的には歩道側に樹冠下を活用でき、屋根面を覆う高さの樹木の植栽や、建物西壁面に緑化スクリーンや中木を植栽する改善案を提示した(図5(d))。そして3D CAD対応熱環境シミュレータにより各評価指標を算出し、現状と改善案を比較した。例えば図5(e)に示すように高木植栽、緑化スクリーンにより表面温度上昇を抑制する効果を滞在者に近い視点から確認することができ、市民等とのコミュニケーションツールとしても有用である可能性が示される。

#### 6. まとめ

本研究は熱環境を含む様々な環境情報を、テクスチャマッピングやワイヤーフレーム、ソリッドモデル、RGB合成画像等の表現方法を用いて同一画面上で可視化することにより、熱環境に配慮したまちづくりを検討できる可視化システムを開発した。今後は熱環境とともにエネルギー消費の抑制や省CO<sub>2</sub>化も検討できる可視化情報も追加していく。また実際のまちづくりにおいても市民等に提示する機会を設け、システムの有効性を明らかにしていく。

#### 謝辞

本研究の一部は環境省環境研究総合推進費(E-0808)の支援により実施された。日本建築学会低炭素社会特別委員会(代表:中村勉)の委員の方々には、貴重なご意見をいただいた。また本研究の一部は、平成22年度科研費 若手研究B(代表:佐藤理人, No. 21760466)の助成を受けた。ここに記して深謝の意を表す。

#### 注

注1) ヒートアイランドポテンシャルは、梅干野らが既に提案した指標であり、ある街区または敷地内の全ての面から大気側に対してどの程度顕熱負荷を与えうるかを、数値解析より求められた表面温度から直接求めることができる。また、専門家以外の人々にもわかりやすいように温度の次元で示したものである。本指標は、街区または敷地を対象として、全ての面から出る顕熱の平均を見積もることを目的としていることから、街区または敷地の単位面積当たりの値を求めており、下式で定義される。

$$HIP[^\circ\text{C}] = \frac{\int (T_s - T_a) dS}{A}$$

$T_s$ : 表面温度 [°C]     $T_a$ : 外気温 [°C]  
 $dS$ : 微小表面積 [m<sup>2</sup>]     $A$ : 敷地または街区面積 [m<sup>2</sup>]

注2) 周辺環境にも大きく影響される、気温、気流、湿度を考慮した熱的快適性の評価については、今後の課題とする。

注3) 現状でも家屋調査や家屋課税台帳には、本研究で収集・整備したものと同様の情報(屋根の材料や建物構造、竣工年代等)が整備されており、また新築時にCGモデルが作成されることも一般的に行われている。さらに近年は、BIM(Building Information Modeling)も注目され、CADデータに様々な情報を付加することが普及しつつある。今後これらのデータが統合・整備され、建築家や環境コンサルタント等が利用することで、簡便に街区の特性情報の構築や数値解析が行えることが予想される。

注4) 本ツールは、まちづくりを支援する環境コンサルタントや建築・都市計画画家が、ワークショップ等で市民とともに議論や合意形成を進める際に利用されることを想定している。当市街地も日本建築学会低炭素社会特別委員会において、今後のまちづくりを検討している対象であり、本ツールによる成果は、市民ワークショップ等の際に提示する予定である。

#### 参考文献

- 1) 例えば岩井一博, 高木直樹, 滝澤勇輝, 山田千文, 日本建築学会環境工学委員会都市環境・都市設備運営委員会都市環境気候図小委員会: クリアトラスの実用化に関する研究 その4 気候に配慮した長野市のまちづくりのワークショップ, 日本建築学会技術報告集, No. 24, pp. 229-232, 2006. 12
- 2) 例えば建築環境・省エネルギー機構: 自立循環型住宅への設計ガイドライン, 2005. 6
- 3) 梅干野晃, 浅輪貴史, 中大窪千品: 3D-CADと屋外熱環境シミュレーションを一体化した環境設計ツール, 日本建築学会技術報告集, No. 20, pp. 195-198, 2004. 12
- 4) 梅干野晃, 浅輪貴史, 村上暁信, 佐藤理人, 中大窪千品: 実在市街地の3D-CADモデリングと夏季における街区のヒートアイランドポテンシャル数値シミュレーションによる土地利用と土地被覆に着目した実在市街地の熱環境解析その1, 日本建築学会環境系論文集 No. 612, pp. 97-104, 2007. 2
- 5) 梅干野晃, 浅輪貴史, 深澤朋美, 清水敬示: 住環境の維持管理支援を目的とした3D-CADによる住環境情報データベースの作成に関する事例研究, 日本建築学会技術報告集 Vol. 13 No. 26, pp. 663-668, 2007. 12
- 6) 浅輪貴史, 梅干野晃: 屋外の空間形態と構成材料を考慮した建築伝熱シミュレーションの開発, 日本建築学会環境系論文集 No. 578, pp. 47-54, 2004. 4
- 7) 例えばゼンリン: ゼンリン電子住宅地図デジタルマップ土浦市1, 2008. 3
- 8) 例えば土浦市教育委員会: 土浦の町並一伝統的建造物群調査概要一, 1979. 3
- 9) 環境省: ヒートアイランド対策ガイドライン, 2009. 3
- 10) 佐藤理人, 村上暁信, 梅干野晃: 3D-CADモデルを用いた荷重・法規制・日照条件に基づく緑化可能空間の抽出, ランドスケープ研究 Vol. 71 No. 5, pp. 763-768, 2008. 3
- 11) 例えば新技術情報提供システム HIP (<http://www.netis.mlit.go.jp/>), 2010. 6. 18 参照(ワタリ)

[2010年6月18日原稿受理 2010年9月1日採用決定]