3D CAD 対応熱環境シミュレータを用いた密集市街地の緑化による熱環境の緩和に関する研究

Study on Mitigation of Thermal Environment Due to Urban Greenery Using Thermal Environment Simulator Corresponding 3D CAD in Densely Build-up Area

佐藤 理人* 村上 暁信** 梅干野 晁*

Rihito SATO Akinobu MURAKAMI Akira HOYANO

Abstract : In this study, the cooling effect of urban greenery was analyzed, based on numerical simulation using a 3D CAD. Information regarding building form and materials was collected using geographic information system (GIS) data, aerial photographs and field investigations in a substantial urban area (26 ha) of Tokyo. A 3D CAD model was then developed, to which the material data was added. A method for the extraction of potential spaces for the introduction of greening was then developed, considering the live loads, legal conditions and daylight conditions for vegetation growth. A feasible greening plan was then constructed. The all surface temperature distribution was calculated for the present conditions, and a greening plan was proposed using the developed numerical simulation. After all considerations, it was revealed that the sensible heat flux, based on the proposed greening plan, would be decreased by nearly 10% to 30% per day from the present condition. In addition, it was determined that the most effective urban greenery locations were rooftops in detached house blocks, rooftop or ground areas in apartment blocks and rooftops or walls in commercial/business blocks.

Keywords: urban greenery, numerical simulation, 3D CAD, heat island, distribution of all surface temperature, densely built-up area

キーワード: 都市緑化, 数値シミュレーション, 3D CAD, ヒートアイランド, 全表面温度分布, 密集市街地

1. はじめに

近年, 都市熱環境の緩和や景観の向上といった観点から, 大都市を中心として立体的な緑化を含めた緑化施策が展開されている。しかし, 緑被率や緑被面積といった量的な議論のみが先行し, 熱環境緩和に対して効果的な緑の配置や形態であるかについては十分な議論がなされていない。また東京都においては, ヒートアイランド対策ガイドライン¹⁾を取りまとめ, 建物用途ごとに対策メニューが示されているが, 密集市街地においては, 緑化不可能な場合や, 周辺建物の日射遮蔽の影響を受ける場合も多く, 熱環境調整機能を効率的に利用していくための具体的な手法が求められている。

緑の熱環境調整効果は, ①気温低下②風速低下③湿度の上昇④日射遮蔽による表面温度上昇の抑制⑤葉面からの蒸発散に伴う表面温度上昇の抑制が挙げられる²⁾。この中でも④と⑤は, ヒートアイランド現象の主要因の一つである都市部の顕熱負荷を抑える上で有効である。これまでも市街地における緑の熱環境調整効果については, 実測や数値シミュレーションにより, 多数の研究がなされており, 航空機リモートセンシングを用いた緑被率と都市街区の表面温度の関係について解析したもの³⁾等がある。しかしながら, 立面情報や小規模な緑の取得が難しい。また数値シミュレーションを用いて緑化の効果を明らかにしたもの^{4), 5)}もあるが, 市街地の多様な空間形態や構成材料を再現したものとはなっていない。

また建物に囲まれた密集市街地においては, 緑の形態や配置とともに, 建物や地表面といった周囲の空間形態及び構成材料によって熱環境調整効果は異なるため, これらを含めた評価が重要である。加えて, 密集市街地における緑は, 建築開発行為や都市計画等に付随して植栽される場合が大部分であり, 植栽形態や位置が限定されている場合が多い。そのため, 限られた緑化可能空間の中で効率的に植栽する方法に関する知見が不可欠である。しかしながら, 緑化可能空間については, いくつか算出したものが存在

するが, これらを緑化した場合の効果について示されたものはない。そのため, 熱環境の緩和を考慮した今後の密集市街地における都市・建築計画を検討する上では, 緑化可能でかつ熱環境調整効果の高い緑に関する知見を蓄積することが重要である。

これに対し梅干野⁶⁾は, 実在市街地の建物・地表面・緑に関する空間形態及び構成材料を構築する手法を示し, 梅干野⁷⁾が開発した3D CAD 対応熱環境シミュレータを用いて夏季晴天日を対象とした全表面温度分布を算出している。また佐藤⁸⁾は, 市街地における立体的な緑化可能面の抽出方法を検討している。そこで本研究では, 密集市街地においても緑化可能で, かつ熱環境調整効果の高い緑の配置及び形態を実在街区を事例として明らかにすることを目的として, 以下のことを行う。(a)建物用途別の街区を対象に, 現状と現状の緑がない状態を想定した場合(以下, 緑無し)の全表面温度分布を算出した結果を比較し, 緑の形態や配置の特徴とその熱環境調整効果を考察する。(b)現状と現状を最大限緑化した場合(以下, 緑化案)の全表面温度分布を比較し, 緑による熱環境緩和の可能性について示す。

2. 研究方法

(1) 対象地区の3D CADモデルの作成

対象地区は, 東京都心部にある密集市街地の中で, 低中高層建物, 幹線道路, 商業系や住宅系の用途地域を含む, 港区の青山・赤坂地区(約26ha)を選定した。まず, 建物・地面・緑の現状の3D CADモデルについ

図-1 作成した3D CADモデル例

*東京工業大学大学院総合理工学研究科 **筑波大学大学院システム情報工学研究科

街区名	街区面積 (㎡)	グロス 容積率 (%)	グロス 建蔽率 (%)	道路率 (%)	非木造 比率(%)	緑被率 (%)	全緑被面積を100 とした場合の割合(%)		各街区の特徴
							申請率	認定・認定 率	
U1	16390	660	30	37	100	20	18	77	5 特定街区制度を利用し、公共空地が広く、緑も多い高層商業・業務街区
U2	3520	780	45	15	100	10	74	6	20 総合設計制度を利用し、西側に高層建物が隣接する高層集合住宅街区
U3	11760	420	45	15	100	21	48	35	17 総合設計制度を利用し、公共空地を有する高層の住商混在街区
U4	3760	540	54	4	100	15	93	0	7 総合設計制度を利用し、建物周囲に緑を有する高層集合住宅街区
B1	7270	420	44	44	100	2	100	0	0 街区南側及び西側に高層建物が隣接し、緑被率が小さい中高層高密度街区
B2	2400	270	43	42	100	5	100	0	0 東側及び南側に広幅員道路に接し、西側に緑地が存在する中高層高密度街区
B3	5590	410	63	15	100	6	100	0	0 南北道路の東側に接し、東西道路との結節点に位置する中高層高密度街区
B4	3570	120	61	15	100	5	0	78	22 周囲に建物が少なく、東西が開けた低緑被率の低中高層高密度街区
B5	3260	200	34	46	97	6	100	0	0 街区西側に低層建物が広がる、個々の建物面積が小さい中高層高密度街区
B6	8630	330	52	20	100	9	69	8	23 近年建設された建物や用途転用の建物を含む中高層高密度街区
B7	9860	410	39	26	100	5	82	11	7 南北道路に接し、接道部に緑が植栽された建物を含む中高層高密度街区
B8	5030	60	29	14	100	4	12	88	0 周囲に建物が少なく、低層で建物面積の広い、低密度街区
B9	2180	310	32	28	100	7	75	16	9 ガラス張り的高層建物を有し、南側に緑地に隣接する中高層高密度街区
B10	1970	80	22	60	100	3	100	0	0 周囲を広幅員道路に囲まれた緑の少ない中高層高密度街区
B11	1400	150	22	35	99	3	85	4	11 街区東側に高層建物が隣接し、各種の建物面積が小さい低中高層高密度街区
B12	8060	230	47	20	100	3	71	28	1 東西及び南北道路に接し、緑が少なく、建物形状が複雑な中高層高密度街区
B13	5230	150	39	22	94	3	100	0	0 東西道路に接し、街区北側に緑地に隣接した中高層高密度街区
A1	9320	220	43	8	100	7	60	2	38 緑被率が他と比較して高く、建物面積も中規模の低中高層高密度街区
A2	4250	340	37	24	100	11	12	88	0 街区西側に未利用地が広がり、緑地帯をもつ中高層中密度街区
A3	2030	160	40	19	100	15	100	0	0 東側に高層建物が隣接し、北側に未利用地が広がる中高層中密度街区
A4	3110	170	46	4	100	18	89	5	6 高木樹木に囲まれた緑被率の高い中高層中密度街区
A5	3490	180	42	9	100	20	19	79	2 東側に高層建物が隣接し、底に中中等が植栽された中高層中密度街区
A6	4990	150	37	19	54	6	41	59	0 地表面が舗装され、緑が少なく木造・RC造建物が所在する中高層中密度街区
A7	6260	70	24	29	100	51	5	65	30 地表面に高木や地被植物が建物の南面に植栽された中高層中密度街区
H1	11290	110	50	18	46	3	60	34	6 周囲に高層建物がなく、木造建物比率が高い低層高密度街区
H2	3320	110	49	21	49	2	93	0	7 周囲を公園で囲まれた木造建物比率が高い低層高密度街区
H3	2420	100	45	29	73	3	9	25	66 広幅員道路に接し、南側に公園が隣接する木造建物比率が高い低層高密度街区
H4	11060	110	40	28	73	2	91	3	6 東側に高層建物があり、木造建物比率が高い低層高密度街区
H5	6300	120	41	28	80	6	41	59	0 南北に低層建物が広がる木造建物比率が高い低層高密度街区
H6	6720	110	41	22	80	2	90	3	7 東側に中高層建物があり、木造建物比率が半数を占める低層高密度街区
H7	8990	120	44	26	68	6	81	17	2 広幅員道路に隣接する木造建物比率が半数を占める低層高密度街区
H8	4590	110	34	8	83	20	87	11	2 公園に隣接し、街区内にも高木が多いRC造建物が占める低層低密度街区

図-2 対象とする街区の概要

ては、前述の梅干野ら⁶⁾の空間形態及び構成材料データを整備した結果を用いた。本CADモデルは、汎用3D CADソフトウェアを用いて構成材料データを付加した3D CADモデルを立ち上げたものである。このときモデルの再現精度は、建物の凹凸や窓面の大きさを考慮し、0.4m以上の凹凸や形状を再現している。

(2) 各街区の概要

次に建築スケールから都市スケールをつなぐ空間単位として街区⁹⁾に着目し、土地利用、土地被覆分布が均質な街区単位への分割を行った。このとき、道路で囲まれた区画を街区の基準とすると、必ずしも土地利用・土地被覆が均質とはならない。そこで、対象地区を幅員6m以上の道路によって分割した後、「倉庫用地」「公園用地」や特定の都市計画制度を利用した敷地¹⁰⁾（以下特定制度利用街区）は、一定規模の面積を有し、土地被覆も他の敷地と異なるため、単一の街区として敷地を分割した。さらに、その他の「商業・業務地」「集合住宅地」「戸建住宅地」区域については、対象地区内の建物形態¹¹⁾、建物構造（木造・非木造）、土地利用、緑被分布及び道路の情報を参考に、土地被覆が均質となるように分割した¹²⁾。また街区の境界線は道路中心線を基準とし、その他は敷地境界を基準とした。図-2に対象街区の概要を示す。

各街区の建物・緑・地面の特徴は、対象地区内の南北幹線道路を基準とした西側後背地、東側後背地、幹線道路沿道ごとに大きく異なっている。以下に文献及び過去の航空写真等¹³⁾を踏まえた建物用途・地表面被覆の変遷を示す。

南北幹線道路の西側後背地には、第二次世界大戦後急易住宅が建設されたが、1960年～1970年頃に、公営住宅や官舎等の集合住宅街区（A2, A3, A5～A7）や、低層密集戸建住宅街区（H1～H7）へと建替が進んだ。このうち集合住宅街区は、緑被率が20%以上の街区（A5, A7）や、緑被率10%未満の街区（A1, A6）があり、高木や低木を含む多様な緑がみられる。また戸建住宅街区は緑被率が小さく、道路沿道に低木植栽のみが施されたものが多い。南北幹線道路の東側後背地は、低密度で緑豊かな戸建住宅地であったが、1960年頃から集合住宅（A1, A4）が建設されるようになり、緑は減少したが、1970年以降は用途変化が少なく、緑被率が20%程度の街区もみられる。南北幹線道路沿道は、60年代前半に首都圏整備法に伴う道路の拡幅工事が行われ

図-3 実現可能な緑化案の作成方法

て以降、中高層の商業・業務ビルが目立ち始めた。近年は60年代～70年代竣工のビルの建替も進んでいる。これらの街区の緑は、特定制度利用街区を除くと、街路樹または幹線道路側に植栽された低木がほとんどであり、植栽のない建物も多い。また特定制度利用街区は、1978年に竣工した特定街区（U1）と、1992年～2003年に竣工した総合設計制度を利用した街区（U2～U4）があり、他の建物用途より緑被率が高い。

(3) 実現可能な緑化案の作成

本研究においては、現状に加えて、密集市街地における熱環境緩和の可能性を検討するため、実現可能なレベルの緑化案を作成する。図-3に緑化案の作成方法を示す。

まず、前述の佐藤らによる緑化可能面の抽出手法を用いた結果と、地上面の緑化可能面については、植栽可能な最大限の緑の形態を、確保可能な根鉢直径や建築限界線を参考に設定し、実現可能な緑化案を作成した。このとき根鉢直径ごとの植栽可能な最大限の形態は、植栽工事共通仕様書¹⁴⁾及び公共用緑化樹木品質寸法規格基準（案）¹⁵⁾を参考に設定した。

(4) 3D CAD 対応熱環境シミュレータによる全表面温度分布の算出

図-4 緑無しと現状の日中(12時)及び夜間(20時)の顕熱量 H (W/m^2)

図-5 緑による一日当たりの顕熱抑制率と各街区の緑被率

全表面温度分布を算出するにあたり、使用した3D CAD 対応熱環境シミュレータ⁷⁾は、3次元の形状を再現した建物及び2次元の地表面の全表面をメッシュ分割(本研究では0.4m)し、それぞれに設定した質点において、表面の熱収支計算(直達日射、天空日射、反射日射、大気放射、周辺地物との長波長放射の授受、対流熱伝達)と各面断面方向の一次元非定常熱伝導計算を行い、表面温度を算出した。計算は4日間助走計算させ、5日目の結果を周期定常解として採用した。

気象条件は、空気調和・衛生工学会方式による標準年気象データの東京のデータから、夏季の晴天日として8月5日のものを使用した。建物内部の境界条件である自然室温、冷房時室温、地中温度については、梅干野ら¹⁶⁾と同様の方法を用いた。計算は街区単位で実施し、街区の周辺建物を熱収支計算に影響を及ぼす境界条件として計算範囲に含めた。また樹冠表面温度の算出方法として、既往文献と同様に実測から得られた回帰式^{17), 18)}を用いて、樹冠及び地被植物の表面温度を算出した。

(5) 分析方法

対象地区における現状の緑の熱環境調整効果を明らかにするため、まず緑無しと現状の全表面温度分布を算出し、街区ごとの緑による顕熱抑制効果を明らかにする。次に建物用途別(戸建住宅街区、集合住宅街区、商業・業務街区、特定制度利用街区)の緑化案の全表面温度分布を算出する。そして、緑無し、現状、緑化案の全表面温度分布を比較し、緑化可能で熱環境調整効果の高い緑の形態及び配置について考察する。以下に本研究で用いた評価指標を示す。

(i) 全表面温度分布を用いた分析

緑による表面温度上昇の抑制効果は、時間帯によって大きく異なり、またその効果の及ぶ範囲も時間帯により異なる。そこで、本研究では、3ケース(緑無し、現状、緑化案)の全表面温度分布を、時系列(1時間ごと)に算出した結果を用いて考察する。

(ii) 街区ごとの部位別の顕熱量を用いた分析

密集市街地において緑化を検討する場合、屋上、壁面、地上部への緑化が行われるが、受熱日射量や、構成材料も大きく異なる。

そこで、緑によって大気への顕熱量がどの程度抑制されたかを明らかにするため、緑無し、現状、緑化案の屋上面、壁面、地面¹⁹⁾の顕熱量を次式より算出し、時系列変化や日中(12時)及び夜間(20時)の比較、1時間ごとの日積算値を基に考察する。このとき、緑無しと現状の顕熱量の差を、緑による顕熱抑制量 ΔH (W/m^2)と定義する。

また算出した緑無しと現状の顕熱量 H の日積算値を用いて、現状から緑無しの顕熱量 H の日積算値を除いた値を、緑による一日当たりの顕熱抑制率と定義する。このとき、対流熱伝達率 α_c は、jurgensの式を用い、気流の空間分布は一様として扱った²⁰⁾。

・単位街区面積当たりの顕熱量 H (W/m^2)

$$H = \alpha_c \int_{\text{all\_surface}} \frac{(Ts - Ta) ds}{A} = \alpha_c \int_{\text{roof}} \frac{(Ts - Ta) ds}{A} + \alpha_c \int_{\text{wall}} \frac{(Ts - Ta) ds}{A} + \alpha_c \int_{\text{ground}} \frac{(Ts - Ta) ds}{A}$$

$$H_{\text{屋根面}} = \alpha_c \int_{\text{roof}} \frac{(Ts - Ta) ds}{A}$$

$$H_{\text{壁面}} = \alpha_c \int_{\text{wall}} \frac{(Ts - Ta) ds}{A}$$

$$H_{\text{地面}} = \alpha_c \int_{\text{ground}} \frac{(Ts - Ta) ds}{A}$$

α_c : 対流熱伝達率

Ts : 表面温度

Ta : 気温

A : 街区面積

ds : 微小面積

3. 建物用途ごとの現状の緑の熱環境調整効果の分析

本章では、現状の緑による大気への顕熱負荷の抑制効果を分析するため、現状と緑無しの日中(12時)及び夜間(20時)の屋根面・壁面・地面ごとの単位街区面積当たりの顕熱量 H (W/m^2)を算出した結果(図-4)と、顕熱抑制率と緑被率との関係を算出した結果(図-5)を用いて、緑による顕熱抑制効果を考察する。また、これらと時系列の全表面温度分布や、建物用途ごとの現状の緑による顕熱抑制効果の特徴を分析する。

(1) 特定制度利用街区(U1~U4)

特定制度利用街区¹⁰⁾においては、容積をインセンティブとして、公開空地の確保や緑化が義務付けされていることから、高容積率・低建蔽率・高緑被率という特徴があり、近年適用事例が増

加傾向にある。図－5のU1～U4街区の顕熱抑制率と緑被率の関係を見ると、緑被率は他の建物用途よりも高い傾向にあるが、顕熱抑制率は大きく異なっている。そこで、各街区の時系列の緑による顕熱抑制量 ΔH (W/m^2) (図－6)を比較したところ、総合設計制度を利用したU2においては、顕熱抑制量 ΔH が終日小さい傾向がみられ、この要因として、容積率緩和によって街区内の建物が高層(20階建)であることから、建物北側に植栽された低木の大部分が終日日陰部分に含まれること、建物東側の植栽が、午前中は隣接街区の影響を受け、午後は街区内の高層建物の日射遮蔽を受け、緑がない場合でも表面温度が大きく上昇しないことが影響していた。またU3街区では、緑の効果が最も大きく、中層建物が隣接した公開空地に高木が多く植栽されていることにより効果が高かった。これらのことから、特定制度利用街区における緑は、容積率緩和により、街区内の高層建物や周辺建物による日射遮蔽の影響を受けやすいため、建物南面や屋上等の日射遮蔽の影響を受けにくい箇所への緑化の推進が必要であるといえる。特に特定街区では広幅員道路への接道義務が存在し、周辺建物の日射遮蔽の影響を受けにくい、総合設計制度を利用した場合、隣接建物の日射遮蔽の影響を受けやすいことから、周辺建物も考慮した計画が重要である。

(2) 商業・業務街区 (B1～B13)

対象地区の商業・業務街区は、大部分が南北幹線道路沿道に位置し、中高層の建物が密集している街区である。これらの街区の緑は、街路樹や建物周りの低木植栽がほとんどで、緑被率が10%未満の街区が大部分を占める。そのため、図－5に示すように、緑による一日当たりの顕熱抑制率も建物の南面に樹高約15mの高木が植栽されているB6を除き、0～8%程度である。また図－4に示す日中及び夜間の顕熱量 H のうち、日中では南北幹線道路東側に位置するB3、B6街区で $H_{\text{東面}}$ が大きく、夜間は南北幹線道路の西側に位置するB5、B7街区や公園に隣接するB4街区の $H_{\text{西面}}$ の割合が高かった。この要因として、図－7に示すように、南北幹線道路沿道では、①高層建物が多い②後背地側の建物が低い③幹線道路の後背地側の窓面積率が低いといった都市構造に加えて、④RC造等の蓄熱しやすい材料で構成されていることが影響している。つまり、南北幹線道路西側沿道の後背地側である西壁面の窓面積率が低いため、結果として西日を受けた西壁面の蓄熱が促進され、夜間の $H_{\text{西面}}$ が高い要因となっている。このことから、同じビル壁面への緑化対策であっても、道路方位やその後背地の状況により、緑化による熱環境緩和効果の高い建物は異なり、また効果の高い時間帯も大きく異なるといえる。

(3) 集合住宅街区 (A1～A7)

集合住宅街区は、3～20階建の中高層建物で、規模も様々であり、多様な空間形態・構成材料で形成されている。また緑の量も街区によってばらつきが大きく、緑被率は5%～51%である。そのため、顕熱抑制率も1%～30%と各街区によってばらつきが大きく、建物用途として一貫した傾向はみられなかった。ただし、集合住宅街区は駐車場や庭園としての利用や日照の確保といった観点から建蔽率が50%未満の低中層街区が多い。このうち緑被率が5%、21%、51%の集合住宅について、図－8に示す地面の顕熱量 $H_{\text{地面}}$ の時系列変化を比較したところ、緑被率が51%の街区では、最大でも顕熱量が $60W/m^2$ と一日を通して顕熱量が小さかった。これに対し緑被率21%の街区では、日中は屋根面や駐車場となっているアスファルト舗装面の影響で顕熱量が約 $100W/m^2$ となるが、夜間は午後の時間帯において、樹高約10mの高木による日射遮蔽効果により、ほぼ気温相当となる。一方緑被率5%のA6街区では、一日を通して顕熱量が大きかった。このことから、密集市街地においても、比較的建蔽率が低い敷地がみられる集合住宅街区においては、高木植栽が可能な空間も多く、

図－6 特定制度利用街区における顕熱抑制量の時系列変化

図－7南北幹線道路沿道における建物断面例

図－8 集合住宅街区における地面の顕熱量 $H_{\text{地面}}$ の時系列変化

熱環境緩和の可能性が高い街区も多いと考えられる。

(4) 戸建住宅街区 (H1～H8)

戸建住宅街区は、H8を除いて南北幹線道路の西側後背地に分布しており、大部分が2階または3階建の住宅が密集している。また緑は接道部沿道の低中木が中心で、緑被率も10%未満の箇所がほとんどである。日中の顕熱量の特徴として、図－4に示すように建蔽率の低いH8を除いて、日中は $H_{\text{屋根面}}$ の占める割合が大きい。これは建蔽率が高く屋根面への受熱日射量が多いことに加えて、濃色で日射吸収率の高い屋根面が多いことや、構成材料の熱容量が小さいことが影響している。一方、夜間は現状では全て $20W/m^2$ 程度以下となる。また緑による顕熱抑制率は、住宅地内に高木が存在し、建蔽率が低いH8街区を除き、約5%未満とごくわずかである。

次章では、これらの街区のうち、建物用途ごとに代表的な街区を抽出し、緑化案による熱環境調整効果について分析する。

4. 緑化による建物用途ごとの顕熱負荷の抑制可能性の分析

本章では、建物用途ごとに代表的な街区を1つつつ選定した計4つの街区(U3, B5, A5, H1)について、各街区の緑による顕熱量の抑制可能性を考察した。まず、実現可能な「緑化案」を

図-9 現状と緑化案の顕熱量の日変化と全表面温度分布図例

作成し、緑化可能空間の特徴を示した。そして、「緑化案」の全表面温度分布及び顕熱量を算出し、前述の「緑無し」及び「現状」の結果と比較・考察した。図-9に上記街区の緑被地の平面図、鳥瞰図及び全表面温度分布の鳥瞰図、顕熱量の時系列変化の結果を示す。

(1) 特定制度利用街区 (U3)

特定制度利用街区 (U3) では、設備機器類を除く屋上面の一部や、公開空地への高木植栽、建物壁面の一部で緑化可能である。これにより、緑被率は現状の 21% から 35% に緑化可能である。その結果、U3 の顕熱量は、終日受熱する屋根面や、幹線道路の裏側で窓面の少ない東壁面への緑化に対する効果が高い。しかし、地上面については、現状でも高木が植栽され、効果が高いことに加えて、高層建物がかの字型に配置されている影響で、午前及び午後とも高層建物による日射遮蔽の影響を受けやすいため、現状と緑化案の差は小さく、高木本数を増加させても効果は高くなかった。

(2) 商業・業務街区 (B5)

商業・業務街区の南北幹線道路の西側に位置する B5 街区では、室外機等を除く屋上面の一部と、窓面積の小さい西壁面への緑化が可能である。しかし、地上部については、緑化余地は存在しない。この結果、顕熱量は午後の受熱量が大きく、蓄熱しやすい西壁面の緑化に対する効果が、午後から夜間にかけて高い。

(3) 集合住宅街区 (A6)

集合住宅街区 (A6) においては、駐車場周囲に緑化可能面が存在し、空間の確保が容易であったため、高木の緑化が可能である。また壁面や屋上面においても緑化可能面が多いことから、緑被率も 6% から 40% へと大幅に増加し、緑化による効果は他の用途と比較して最も大きい。

(4) 戸建住宅街区 (H1)

戸建住宅街区 (H1) では、地上部における緑化可能面がごくわずかであり、中高木が緑化可能な場合でも樹冠幅は小さい場合が大部分を占めていた。また、壁面緑化可能部分も建物が密接していることや、開口部面積が大きいため少ない。しかし、屋上部分では緑化可能な箇所が多く、緑被率が現状の 3% から 18% へと増加し大部分が屋上面であった。これにより、日中の顕熱量は低下したが、夜間はずっと蓄熱しない木造建物屋根面であり、表面温度がほぼ同等であるため、顕熱抑制効果はほぼ 0 である。

5. まとめ

本研究では、密集市街地を対象として、数値シミュレーションを用いて夏季晴天日を想定した全表面温度分布を算出した結果から、現状の緑による顕熱抑制効果を明らかにするとともに、緑化による顕熱量の抑制可能性を示し、緑化可能でかつ顕熱抑制効果の高い市街地の緑の特徴について建物用途ごとに分析を行った。以下に得られた知見を示す。

- 現状の街区のうち、緑被率 10% 未満の街区においては、緑による顕熱抑制効果はごくわずかであり、一日当たりの顕熱量の数%程度であった。この要因として、緑被率が 10% 未満の街区では、樹冠の小さい樹木や低木等が大部分を占めることや、周囲の建物による日射遮蔽の影響を受ける場合も多いことが影響していた。
- 緑被率が約 50% で、高木や地被植物が植栽されている集合住宅街区においては、緑が全くない場合と比較して、一日当たりの顕熱量が約 3 割抑制されており、対象街区内で最も顕熱抑制効果が高かった。
- 集合住宅街区では、屋根面・壁面・地上面の全ての面への緑化が可能な場合も多いことから、これらの面への総合的な緑化を施すことが有効である。

- 特定制度利用街区では、高層建物が存在するため、高層建物の日射遮蔽の影響を受けにくい公開空地への緑化や、屋上緑化部分において、緑化可能でかつ顕熱抑制効果も高い。
- 幹線道路に面した商業・業務街区は、幹線道路の後背地側の建物壁面における開口部が小さいことから、緑化可能な場合が多い。ただし、道路方位により、顕熱抑制効果の高い時間帯は異なる。
- 木造建物比率の高い戸建住宅街区においては、屋上面への緑化による日中の顕熱抑制効果が非常に大きい。

今後は、周辺建物を含む街区の類型化を行った上で、緑化可能で、かつ熱環境調整効果の高い緑化計画を行う上での指針の作成を目指す。

謝辞

本研究の一部は、平成 21 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。ここに記して感謝の意を表す。

補注及び引用文献

- 1) 東京都環境局 (2005) : ヒートアイランド対策ガイドライン
  - 2) 村上周三 (2000) : CFD による建築・都市の環境設計工学:東京大学出版会
  - 3) 例えば梅干野晃・飯野秋成・古賀和博・佐野仁美 (1995) : サイドルッキング航空機 MSS データを用いた丘陵開発地域のヒートアイランドポテンシャルの計量及び土地被覆との関係の検討:日本建築学会計画系論文集 No.471, 29-37
  - 4) 吉田伸治・大岡龍三・持田灯・富永禎秀・村上周三 (2000) : 樹木モデルを組み込んだ対流・放射・湿気輸送連成解析による樹木の屋外熱環境緩和効果の検討:日本建築学会計画系論文集 No.536, 87-94
  - 5) 萩島理・片山忠久・林徹夫・谷本潤 (1999) : 数値計算による街路樹の暑熱緩和効果の評価 街路樹のある街路の温熱環境予測その 2:日本建築学会計画系論文集 No.525, 83-90
  - 6) 梅干野晃・浅輪貴史・村上暁信・佐藤理人・中大窪千晶 (2007) : 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, 97-104
  - 7) 梅干野晃・浅輪貴史・中大窪千晶 (2004) : 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, 195-198
  - 8) 佐藤理人・村上暁信・梅干野晃 (2008) : 3D CAD モデルを用いた荷重・法規制・日照条件を考慮した緑化可能面積の抽出:日本造園学会ランドスケープ研究論文集 Vol.71 No.5, 763-768
  - 9) 建築学用語辞典における定義では、街区とは「道路で囲まれた一まとまりの敷地の集合した空間単位.街区基盤が未整備の地区などでは、街区を客観的に確定できないこともある。」とある。
  - 10) 本研究においては、特定の都市計画制度とは容積率緩和をインセンティブとして公開空地を設けることを義務付けている制度を指し、対象地区では特定街区と総合設計制度を利用した街区を示す。
  - 11) 建物形態については、1/2500 東京都都市計画 GIS データ (2000) に基づく建蔽率・階数・建物面積をパラメータとした、k-means 法による非階層型クラスター分析を港区全域の建物を対象として行い、8 つの建物タイプに分類した結果を用いた。
  - 12) 周囲の街区と土地被覆が大きく異なる敷地は、解析対象から除外した。
  - 13) 使用した古地図及び航空写真は下表の通り
東京都全住宅案内図帳 港区北部	東京住宅協会	1959
東京都全住宅案内図帳 昭和 40 年度版 港区	住宅協会図部	1965
全住宅案内図帳 昭和 45 年度版 港区	公共施設地図航空	1970
航空住宅地図帳 昭和 51 年度版 港区版	公共施設地図航空	1976
航空住宅地図帳 昭和 55 年度版 港区版	公共施設地図航空	1980
航空住宅地図 昭和 61 年度版 港区版	公共施設地図航空	1986
ゼンリン住宅地図 91 港区 東京都	ゼンリン	1991
ゼンリン住宅地図 95 港区(北部) 東京都	ゼンリン	1995
ゼンリン住宅地図 2000 港区 東京都	ゼンリン	2000
街しるべ電子住宅地図 2003 港区 東京都	ジオ	2003
1/10000 空中写真	国土地理院	1963
1/10000 空中写真	国土地理院	1974
1/10000 空中写真	国土地理院	1979
1/10000 空中写真	国土地理院	1987
1/10000 空中写真	国土地理院	1992
1/10000 空中写真	東京デジタルマップ	2003
- 14) 国土交通省 (2003) : 植栽工事共通仕様書
  - 15) 国土交通省 (2003) : 公共用緑化樹木品質規格基準 (案)
  - 16) 梅干野晃・浅輪貴史・高田真人・円井基史 (2002) : 土地利用と熱環境対策からみた都市街区におけるヒートアイランドポテンシャルの特徴:日本建築学会計画系論文集 No.559, 63-70
  - 17) 例えば梅干野晃・何江・堀口剛・王革 (1994) : 芝生葉群層の熱収支特性に関する実験研究 屋上芝生植栽の熱環境調整効果 第 1 報:日本建築学会計画系論文集 No.462, 31-39
  - 18) 池沢紀幸・片山忠久・林徹夫・谷本潤・何平・下川幸司 (1996) : 樹木のある街路の熱環境予測 (その 6) 十字街路熱環境予測に関する検討:日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), D-2 133-134
  - 19) 本研究における屋上面とは、建物の屋上に設置されている塔屋及び屋上設置物を含む建物屋上の全表面を指し、壁面とは、建物壁面及びベランダ等の壁面付属物を含む壁面の全表面を指し、地面とは、建物部分を除く地盤表面を指す。
  - 20) 本ツールにおいては、第一次近似として気温・風速ともに空間分布一様として扱っているが、ヒートアイランド現象が顕在化しやすい弱風条件下に限定すれば、表面温度の数 $^{\circ}$ C のオーダーと比較した場合、十分議論が可能であると考ええる。