

実測調査に基づくストリートキャニオン内の風・温熱環境への影響要因として
風上粗度要素の形状特性に関する研究

THE AFFECTS OF DOWNWIND ROUGHNESS ELEMENT MORPHOLOGY ON PEDESTRIAN LEVEL WIND
AND THERMAL ENVIRONMENTS IN URBAN STREETCANYONS

ファウラー トロイ*、佐土原聡**、吉田聡***

Troy FOWLER, Satoru SADOHARA, Satoshi YOSHIDA

Designing the morphology of urban districts (building clusters and roads) to maximize ventilation during summer is an effective way to mitigate the Urban Heat Island effect (UHI). Using wind speed, wind direction, and temperature measurements taken at pedestrian level in 2004 and 2005 in several central urban districts in Yokohama, Japan, this paper uses 6 original simplified 2 dimensional urban morphological parameters (A: angle between upper air flow and road; SHO: ratio of frontal aspect height to plan; CVR: ratio of roughness element horizontal length to plan; DNS: street canyon height difference; RW: road width; and TOSU: number of roughness elements) to analyze the link between urban thermal environments and the shape of roughness elements placed downstream in a regional air flow. In addition to smaller SHO, CVR, and TOSU values; as well as larger RW values, better ventilation (and hence less intense UHI conditions) was observed when A was closest to upper air flow direction; DNS was such that leeward building height exceeded that of windward buildings, and especially with lower values of SHO and CVR.

Keywords: Urban morphology, urban microclimate, Yokohama, urban heat island, ventilation

街区形状、都市微気候、横浜市、ヒートアイランド現象、換気性

1. はじめに

1.1 研究の目的

近年、日本の大都市域では地表面被覆の人工化や都市化に伴いヒートアイランド現象が顕在化している。それに対処するための対策が様々な空間スケールで考案されている。屋上緑化や保水性舗装などの建材スケールの対策の他にも、上空の自然風の流れに配慮した建物配置計画など、都市スケールを対象にした「風の道」の創出も対策の一つとして位置づけられるようになった。

都心街区の内部空間には数多くの高温化する要因があり、それらは空間的規模と時間的変化に関係するため、実際の都市街区の温熱環境を厳密に評価するのは困難である。交通や建物空調からの人工廃熱が大きく異なる他、建物による都市表面形状の凸凹度合いによって日射の直達率や天空率の特徴が異なる。また、都市部表面被覆の特徴（緑地と水面などの自然被覆や、コンクリート等の人工被覆）が場所によって異なるため、都市内のある局所的な温熱環境を定量的に設計・評価するのは極めて難しいことから、ヒートアイランド現象への対策のためにはこれらの影響要因とその影響度合いを

理解し配慮する必要がある。

しかしながら、都市部の温熱環境を形成するこれら様々な自然的、建築的、人工的な要因の中では風が最も重要な要因である。風は熱を上空へ拡散させる事でヒートアイランドを緩和する他、都市部における安定した換気をもたらす、新鮮な空気を取り入れや汚染物質の拡散等、都市生活基盤に対して様々な場面で大きな役割を果たしている。そのため、都市開発の計画方針を検討する上で、風への配慮は重要な項目である。自然的な環境条件に加えて、ある場所に吹く風はその場所の風上地域の粗度要素（建築物と樹木）に影響を受けるため、都心市街地における季節別の適切な風環境を実現するためには、季節ごとの卓越風の風上粗度要素の戦略的な配置が肝要だと考えられ、都市の幾何形状の特徴と通風、換気の特徴を明らかにする必要がある。そこで本研究は横浜市の都心街区で実測した温熱環境データと通風環境データに基づいて、全測定点から風上粗度要素の形状を6つの簡易化パラメータで表現した上で、それぞれの形状パラメータが通風環境及び、温熱環境に及ぼす影響を解析し、その関係を三つの風速階級において把握することを目的とする。

*1 横浜国立大学大学院・博士課程後期

*2 横浜国立大学大学院環境情報研究院教授・工博

*3 横浜国立大学大学院環境情報研究院助教授・工博

*1 Graduate School, Yokohama National Univ.

*2 Prof., Yokohama National Univ. Dr.Eng

*3 Assoc. Prof., Yokohama National Univ. Dr.Eng

1.2 都市部における風通し

都市内部における風通しに関する研究では、ある特定の期間に吹く最も頻度の高い風向の卓越風、高層建物間で生じるビル風や、海風、河川風等の様に、風速・標高・発生源等によって様々な風に分類され、都市設計の際にそれぞれの特徴によって捉え方が異なる¹⁴⁾。大都市圏のヒートアイランド現象に関する研究においては、臨海部から吹く海風の冷却効果は既往の報告⁷⁾によって検討されているが、横浜市における8・9月に吹く卓越風の主風向を最寄り気象台で見ると近接臨海部から吹いて来るのではなく、主に南西の方位(角度: 217°)から吹いて来る。よって、本報で取り上げる風は「海風」ではなく、対象地域の上部空間を流れる大きな風ということで「上空風」という名称を利用することとする。

都市要素の空気力学的特徴が通風環境と温熱環境に及ぼす影響を検討するために、従来、風洞実験やCFDシミュレーションなどに基づいた街区スケールの風通しや個別建物スケールの気流分布などに関して基礎的な研究が広くなされてきたが、これらの分析方法は計算量などの問題から、理想的、かつ一定の通風条件や等間隔に並べた標準化された定型粗度要素の分析となるため、実際の都市を説明するには限界がある。久保田ら⁹⁾は、風洞実験により街区の配置条件と集合形態が異なる建物群のグロス建ぺい率と平均風速の関係性を検討したが、建物群の形状評価指標が建ぺい率のみに限られており、通風環境と建物群形状の関連性をより詳細に検討する必要がある。その他にも名古屋市を横断する河川に沿った風の特徴と風速分布などの様に、広域の実測調査に基づいた研究事例も幾つかあるが、都市街区形態の特徴と風下風の流れの関連性を明らかにする詳細実測事例はあまり無い。

1.3 Source footprint『影響領域』

気象学の研究では、対象地における風の流れや温度に対して風上方向にある熱源と物体がどれくらい影響を与えるのかを検討するため、Source footprintという概念が適用されている。Source footprintというのは温度などのスカラー測定から風上方向にある物体と熱源の空間的な位置やその重みづけ影響度を判定する『測定対象に影響を与える領域』を意味する⁸⁾。図1が示すようにこの影響

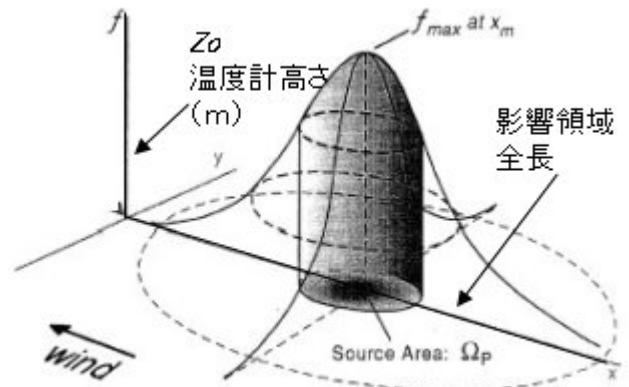


図1 影響領域の略図

領域は温度計が読み取っている温度信号に寄与する風上の熱源の位置と面積、比較強度を指定する2次元的な仮想平面であり、いわば温度計の『視野』を指定している¹²⁾。ある影響領域の面積と形状は温度計高さ(Z0)、大気安定度、風上粗度要素の平均高さ等に影響を受けるため、計算的には非常に複雑であるうえこれらは瞬間的な大気状況の変化によって大きく変動する可能性をもつ。

都市に適した影響領域に関する研究では、近年様々な大気安定度の条件に適した影響領域の算出方法が検討されているが、1:100のZ0対影響領域全長比率が微気象学的研究において妥当な近似式である^{と多くの研究事例^{5), 6), 8)}で適用されていることから、本研究ではこの比率を用いることにした。なお、従来の影響領域は風上方向に平行した長さ、それを直交する幅によって出来た楕円の2次元的な平面となっているが、本研究は計算上の便宜性に配慮し、全長のみを扱う簡易化された1次元『影響線』を利用することにした。従って、それぞれの実測点から測定時における上空風風向を基準に風上方向に200mの線を伸ばした直線を影響線として定義し、その直線上の粗度要素を評価の対象として抽出した。}

1-4. 都市街区形状パラメータ

都市街区の幾何形状の特徴を表現するためには、建物平均高さや建ぺい率等の様に、都市空間を形成する物体とその間隔が持つ空間的な関係(urban morphology)を表す都市幾何学的パラメータはいく

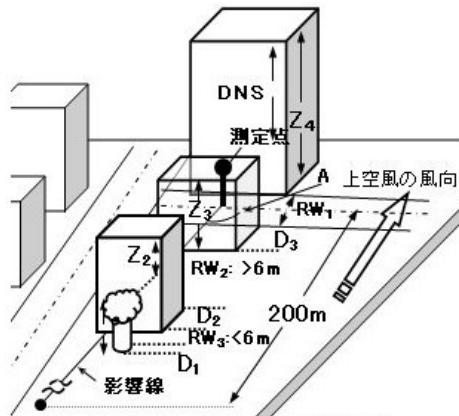


図2 街区形状パラメータ項目の略図

表1 各種街区形状パラメータの内容

パラメータ	説明	記号	寸法	略図
1 ズレ角度	上空風の風向に対して、測定点の位置する道路の方位角度。	A	A	(c)
2 正面割合	風上粗度要素の上空風に対する正面高さ200mの割合。ただ、次の風上要素までの間隔が6m以下だと、両者は統一な表面を持つと判断する。	SHO	Z1+Z2+Z3	(d)
3 被覆率	風上粗度要素が水平に占めている距離と200mの割合。	CVR	D1+D2+D3	(d)
4 キャニオン段差	測定点が位置するストリートキャニオンの風上・風下建物の高さ割合。風下の方が高いと整の数、低いと負の数になる。段差なし:0。	DNS	Z4 / Z3	(d)
5 道路幅	測定点が位置するストリートキャニオンを形成する側面の間の平均距離。	RW	RW1	(c)
6 棟数	風上方向200mにある粗度要素の数	TOSU	-	(d)

(d): 断面図、(c): 鳥瞰図、● / ●: 測定点

つかあるが、その中で Grimmond らにより提案されている典型的パラメータは多くの研究事例に引用されている⁶⁾。しかし、この従来のパラメータ項目は殆どメソスケール気象モデルにおける風速分布式中の地面修正量や粗度長を計算するために用いられ、歩行者スケールにおける通風環境と温熱環境の評価ではまだ使われていないのが現状である。また 3 次元であるため、多数の複雑な形状を持つ粗度要素で形成されている実際の都市街区で算出するには多くの手間を要する。そこで本研究では、数百もの建物から成り立つ都市における風通しを検討するため 6 つの簡易化パラメータ項目を定義した(図 2、表 1)。この街区形状パラメータ項目は、上空風の風向と粗度要素間隔(道路)の位置関係や風上粗度要素の上空風風向別形状特徴などが考慮され、都心街区の換気性を評価するために適するほか、粗度要素が簡易化された 2 次元垂直断面で表現されているため大規模な都市地域でも比較的簡単に算出できるという特徴がある。

SHO と CVR は双方 Grimmond らの 3 次元 frontal plane と plan aspect を 2 次元に変換したものである。A と DNS は本研究で独自に定義したパラメータだが、ストリートキャニオン形状や道路の方位が上空風をどれくらい街区の内部空間へ導ける能力があるのかを検討するために提案した。残りの RW(道路の幅)と TOSU(建物棟数や樹木本数)は都市部の形状を評価する基本指標である。

SHO は各影響線に含まれている全ての粗度要素の風上側面高さを合計した数値と影響線長さ(200m)の割合であるが、ある気流が測定点に届くまでどれくらい粗度物体の正面にぶつかるのかを表現している。SHO の由来となる frontal aspect ratio は Raupach¹¹⁾の農作物の粗度長と風の流れの関連性についての研究を始め、風の干渉物体の風向別断面面積の定量的な指標として多くの通風環境関連研究に適用されている。一方で本研究で定義した SHO 割合の分子となる数値では気流を干渉する合成表面しか必要ないため、複数の個別風上要素の間隔が 6m 以内の場合はその要素の表面が前の要素と一体であると簡略化し、同じ表面として扱うことにした。対象地域で一番幅の狭い道路が約 6m であるため、粗度要素の最低間隔が 6m で、それ以上だと新しい要素群が始まると判断した。

道路の幅(RW)も都心街区内部空間における大気汚染物質拡散及び風の流れにあたる影響などの観点から、幾つかの研究事例に適

用されている²⁾。しかし、本研究の目的である都市街区形状と通風環境の関連性に関する検討を考慮し、ここで扱う道路幅は単純に道路の幅そのものではなく、建物群側面の幅をいう。

CVR は従来の建ぺい率を 3 次元から 2 次元に変えたものであり、測定点から風上線上の物体の被覆率を現している。最後に DNS はストリートキャニオンを形成する沿道建物の高さ段差をいう。風下側面が風上側より高いとき、道路の直角に対して風が 45 度以内に当たるとキャニオン内では渦(キャビティ渦)を生じる事が幾つかのフィールド観測によって報告され³⁾、風向別の DNS 特徴がキャニオン内部空間の通風環境に影響を与える一つの要素となっている。DNS 指数は高さの高い沿道建物を高さの低いもので割った数値をいうが、図 3 の通り風下側面の高さが高いと正の数、風上側面の方が高いと負の数にした。この指数が正の場合は風がキャニオン内部空間に入り易い受動的な形、負の場合はキャニオン前面で風を遮る形をもつ。

上空風の風向: →			
測定点: ↑			
略図			
段差の概要	風を受けない形	段差無し	風を受ける形
DNS 指数	負の数	0	正の数

図3 DNSの概要と指数

2. 対象地域と実測調査の概要

2.1 対象地域の概要

本研究の対象地域の位置と実測した地区は図 4 の示す通りである。同図の差込図は対象地域の地域的な位置を表していると共に、ヒートアイランド現象が最も顕在化する 8・9 月における卓越風の風向を示している。本研究で利用するデータは平成 16 年と 17 年に実測したものであるが、実測地区と項目が年によって異なり、年毎の測定点の位置と測定項目は図 5 の通りである。

実測はほぼ 2km 平方の領域に行ったが、測定店によって周囲の建物密度、道路方位、施設の規模と用途などが異なり、独特な幾何的形態を持つ。両方の年度を合わせて 191 個の測定ポイントがあり、

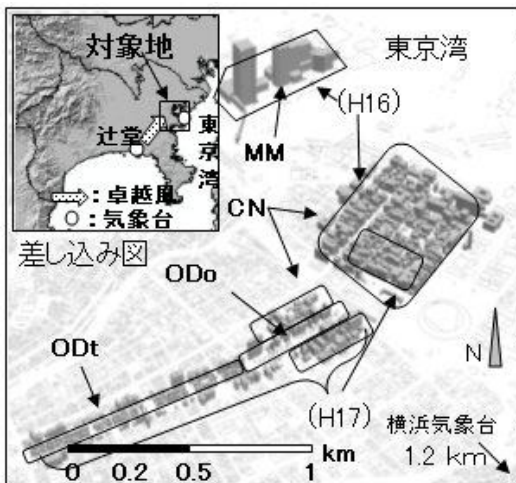


図4 対象地域の位置と概要

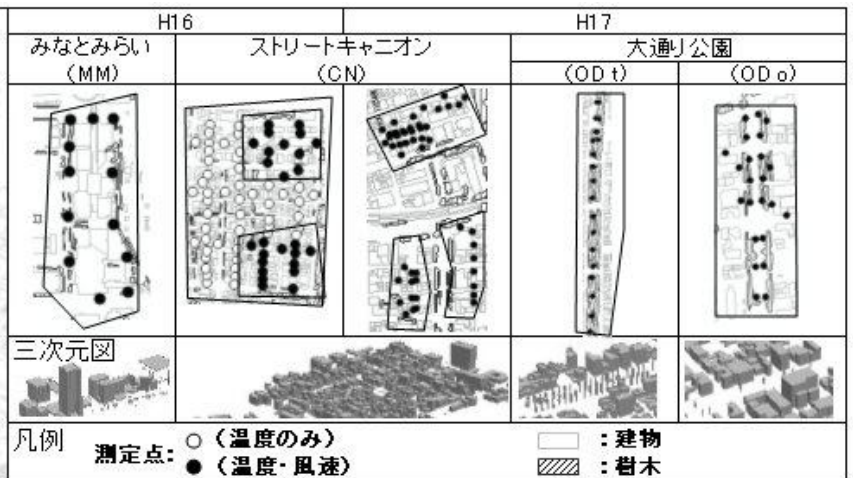


図5 各測定コースの拡大図と測定点

その内 127 個は 2 つの対向している建物群で仕切られたストリートキャニオン（記号：CN）に位置している。CN 地区の他にも少数の大規模超高層複合施設が立ち並んでいる新都市開発地区（みなとみらい、記号：MM）と、公園空間（大通り公園）も実測した。公園空間はさらに風が干渉され易い広い樹冠を持つ樹木が密集しているところ（大通り公園—樹木、記号：OD_t）と建物や木が殆どないオープンスペース空間（大通り公園—オープン、記号：OD_o）の 2 つに分けられている。OD_t 地区では、高く広い林冠を持つ樹木（イチョウ：Ginko Biloba、クスノキ：Lauraceae、ユリノキ：Liriodendron tulipifera、ヤマモモ：Myrica rubra）が密集しているが、他の地区でも同様な街路樹も点在していて、場所によっては通風特徴に影響を及ぼす場合もあると考えられ、樹木を建築物と合わせて粗度要素の一つとして扱った。参考のため各地区の建物を 3 次元柱状体として図 5 の中に表示したが、CN 地区は比較的に格子状に配列している高密度な既成市街地で形成している事が分かる。最後に実測した通風・温熱環境を評価するために、対象地域の中心から約 1.2km 離れた丘の上にあるアメダス横浜地方気象台を比較対象として扱った。

表 2 では、実測した地区と気象台の粗度要素の密度特徴を要素別に示している。この数値は 200m の影響領域を踏まえて各測定ポイントから 200m 半径の円内に含まれる建物と樹木で算出した。粗度要素の密度特徴を要素別に評価してみると、CN 街区の比較的の高い平均建物建ぺい率（0.40）や低い平均緑地被覆率（0.06）に対して、気象台で同じ数値がそれぞれ 0.15 と 0.43 となり、気象台の方はあまり都市化の影響を受けておらず、対象地域の自然的な温熱環境を代表していると考えられる。

気象台の標高（39.1m）と風速計高さ（19.5m）を CN 街区の平均標高（4.0m）と比較すると、気象台風速計がかなり高い位置にあることが分かる。また、気象台の周辺建物と緑地の平均高さ（それぞれ 86.6m と 7.4m）に対して、風速計自体の設置標高が 58.6m（39.1+19.5）であることから、周辺物体からの乱流などの影響が抑えられた状態で対象地域に吹く上空風を代表していると考えられる。

各対象地区の平均建ぺい率、平均建物高さ、建物高さの標準偏差、平均個数を見ると、他の地区に対して CN 街区は比較的に高さの高い建物が多く、緑地が少ないことも分かる。

2.2 実測調査の内容

平成16の8月3～4日と9月1～2日、平成17の8月7～8日のあわせて6日間、高さ2mにおける温度と風速の実測調査を行った。実測スケジュールは表3の通りであり、実測は移動測定で行い、予め決めた測定点まで移動した後、風速の10秒毎の瞬間値を測り、6回を平均した風速1分間平均値、1分間後の瞬間温度を記録した（温度計：ESPEC RS-12サーモレコーダー、風速計：Zephyr Weather Station 1000）。実測を行った6日のうち、H16の実測は昼間と夜間にそれぞれ1回しか行っていないが、H17は早朝から深夜まで実測を6回行い、H16年と17年をあわせて19の個別時間帯を測定した。

表2 対象地区別の粗度要素密度の指標(平均)

地区 (測定点数)	MM (12)	CN (127)	OD_t (31)	OD_o (21)	KI (1)
高さ(m)	55.0	21.8	15.0	22.1	8.6
建物 建ぺい率(%)	0.30	0.40	0.34	0.21	0.15
標準偏差	40.80	9.87	7.74	10.34	3.30
高さ(m)	4.7	5.1	9.7	6.5	7.4
緑地 被覆率(%)	0.05	0.06	0.66	0.07	0.43
標準偏差	8.28	2.47	3.72	3.23	8.43
標高(m)	3.9	4.0	1.9	2.2	39.1 (風速計: +19.5)

表3 実測調査の内容

測定日付	測定時間帯
H16 (8月3日・4日) (9月1日・2日)	13～14 20～21
H17 (8月7日・8日)	5～6, 8～9, 11～12, 14～15, 17～18, 20～21

2.3 通風・温熱環境の評価（風速比と UHI）

通風環境の評価としてある時間帯に吹いている上空風が対象街区の内部にどれくらい導かれているかを検討するため、風速比という上空風の風速 (W_k) に対する実測風速 (W_j) の増減比率を定義する。温熱環境の指標としては、Urban Heat Island Magnitude（下記 UHI）という、それぞれ測定点における温度 (T_j) と周辺郊外部の温度 (T_k) との温度差を利用した。風速比と UHI はそれぞれ式 1 と式 2 によって算出される。ここで上空風風速と周辺郊外部温度は横浜地方気象台の同日同時刻の観測データを利用するものとした。

$$\text{風速比} = (W_j) / (W_k) \quad (1)$$

$$\text{UHI} = (T_j) - (T_k) \quad (2)$$

続いて、図6の上図は各地点の実測風速と上空風風速の関係を表している。実測風速は上空風速に比例する傾向にあるが、上空風速を風速比と比較した場合（下図）、上空風が上昇しても風速比が一定、若しくは低減する傾向にある。これは、上空風が強くなるにもかか

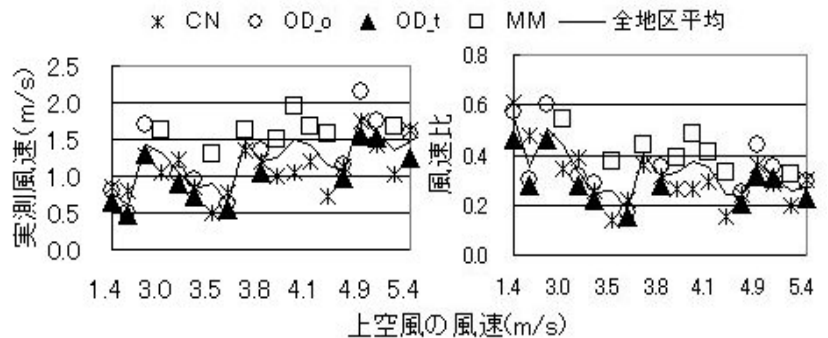


図6 上空風の風速と、実測風速・風速比との関係

ならず、対象都市における街区内部での通風が周辺建物等で干渉されているためであろう。

測定を行った19の個別測定時間帯の内、図7は風速と風向、温度などの気象条件がなるべく類似しているH16年9月1日とH17年8月7日における昼間と夜間の風速比とUHIの空間的な分布を地区別に示している。図の中では高い値が白く、低い値が黒く表示されている。風速比分布の方では、CN地区における風通しは他地区と比べ黒い部分の割合が比較的多く特にMM地区や近接のOD_o地区よりは、CN地区の風通しが良くないことが明らかになった。UHIの分布に関しては、昼間に高温となっている所（白い領域）は全体的に分布しているが、夜間になると高温領域がCN地区に集中的に発生しており、CN街区内では昼間に蓄えられた熱が夜間になっても上空や地域外へ排出され

ず滞留しているという特徴が見られ、当地区の換気性・温熱環境の特徴が明らかになった。

2.4 影響線に基づいた粗度要素の抽出と高さ計算

1-3にて前述の通りそれぞれの測定点から測定時刻における上空風風向を基準に風上方向に延ばした200mの『影響線』上の粗度要素を1-4の街区形状パラメータの算出対象として定義した。図8は参考のため、上空風の風向が202.5度及び、225度における影響線の拡大図である。

粗度要素の高さは対象地域の行政機関より提供されている建物・緑地のGISベクターデータを航空機搭載型レーザーキャナーで取得したデジタル標高データと合わせて算出した^{注1)}。当データは海面

【低い値:黒、高い値:白 網掛け部分はCN地区】

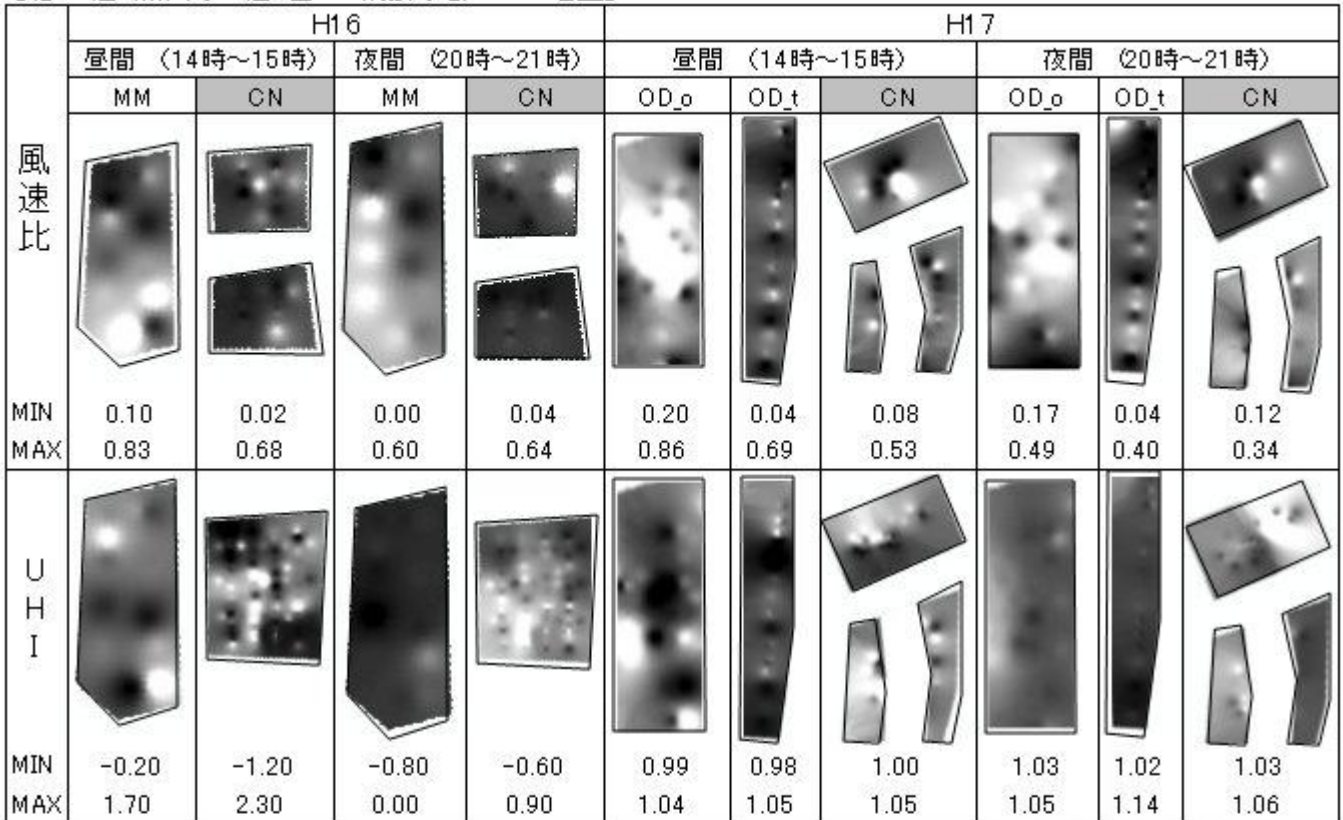


図7 各地区の昼間と夜間における風速比とUHIの空間的な分布

□辻堂 ○横浜 ◆CN地区

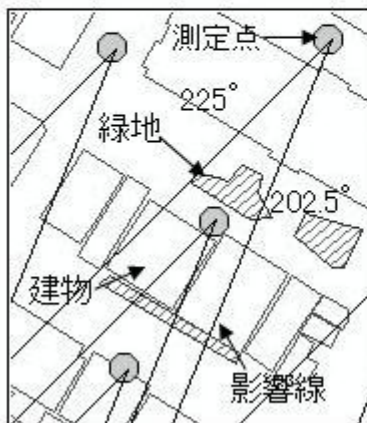


図8影響線のイメージ

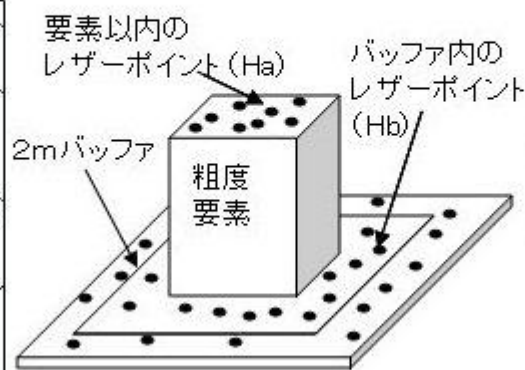


図9 高さ抽出で使う

2m周辺バッファとレーザーポイントの概要

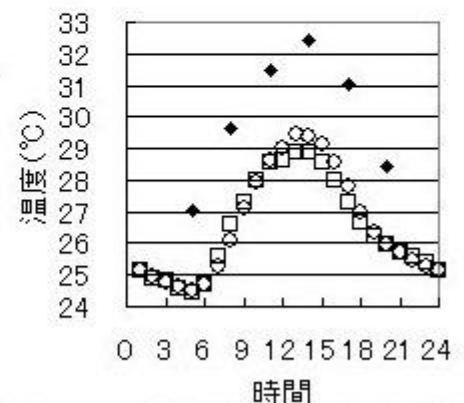


図10 CN地区と気象台の温度比較

を基準にした標高データであるため、個別の粗度要素の地面からの高さを出すには各要素から2m水平バッファを掛け、バッファの中に含まれている最低標高値(Hb)を対象要素の中に含まれている平均標高値(Ha)から引いた値を該当要素の地面からの高さとして扱った(式(3))。つまり、各要素から2mのバッファ内の標高最低値が対象要素の周辺地面高さを表しているとした(図9)。

$$\text{要素の地面からの高さ (m)} = (Ha) - (Hb) \quad (3)$$

この様に、測定時刻別の上空風向に基づき影響線を定義し、影響線上の分析対象粗度要素を定義し、平均高さを算出した上で1-4の街区形状パラメータ項目を算出し、対象街区の形態特徴と通風環境・温熱環境との関連性を評価した。

3. 考察結果

3.1 対象地域の最寄り気象台とCN地区の温度比較

CN地区の測定時間平均気温データを対象地域の最寄り気象台(辻堂・横浜:図4の差込図参照)における1992年(辻堂で観測が開始した年)から2006年の同日同時刻の時間平均気温と比較した(図10)。測定対象地区から約23キロ南西方向にある相模湾に隣接した辻堂気象台と、測定対象地区から1.2キロ離れた横浜気象台における温度差が殆ど見られないのに対して、CN地区の温度との差は3℃以上あることが分かる。また、横浜気象台の8・9月における主風向は、南西方位になっている。この結果から、測定対象街区より数度冷却された空気が南西にある辻堂と相模湾付近から横浜市近辺までほぼそのまま新鮮な状態で運ばれている可能性が高い。従って横浜市都心街区内の温熱環境を改善するためには、この数度低温となっている上空風を街区内に誘導する都市街区の形態設計が重要であると考えられる。

3.2 上空風速階級ごとのパラメータ項目別評価

本稿で取り上げる街区形状パラメータ項目は都心街区の内部空間における換気の観点から、風上粗度要素がどれくらい上空風を導入、または干渉しているのかを検討するために選定したが、各パラメータ項目の影響度が上空風の風速によって変動するかどうかを調べるため、対象地域の8・9月における上空風速を三つの風速階級に分けて、それぞれの風速階級における統計分析を試みた。

図11は横浜市の気象台で15年間の間(H4~H18:辻堂気象台の観測期間に一致。3-1参照)に記録した8・9月における時間毎平均風速と、全時間平均風速、33%、または66%のパーセンタイル平均風速を表している。この33%・66%パーセンタイル値を基準に、横浜市の8・9月に吹く上空風を同図の様に風が弱い時(2.7m/s以下:下級)と、平均並みに吹いている時(2.7~3.6の間:中級)、強く吹いている時(3.6m/s以上:上級)という三つの風速階級に分類した。更に、実測した日における上空風風速を表示し、実測した日の風環境が横浜市の平均的な典型的な夏季風に対してどう位置しているかを整理した。結果として、実測した19の個別時間帯のうち、2つが下級、6つが中級、11個が上級にあてはまる。

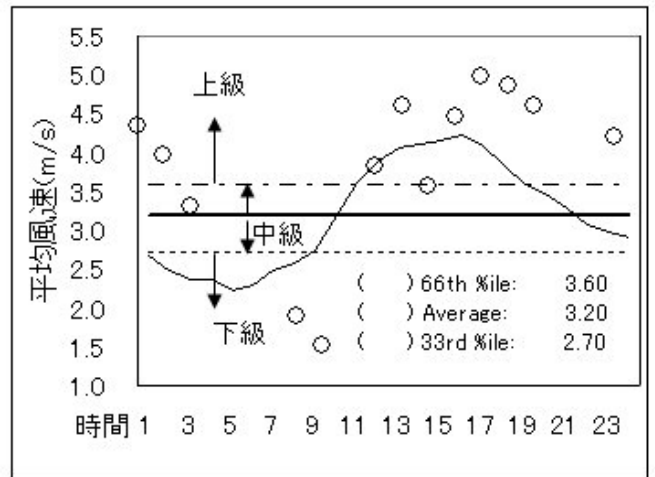


図11 時間別平均風速と実測対象日の上空風風速の比較

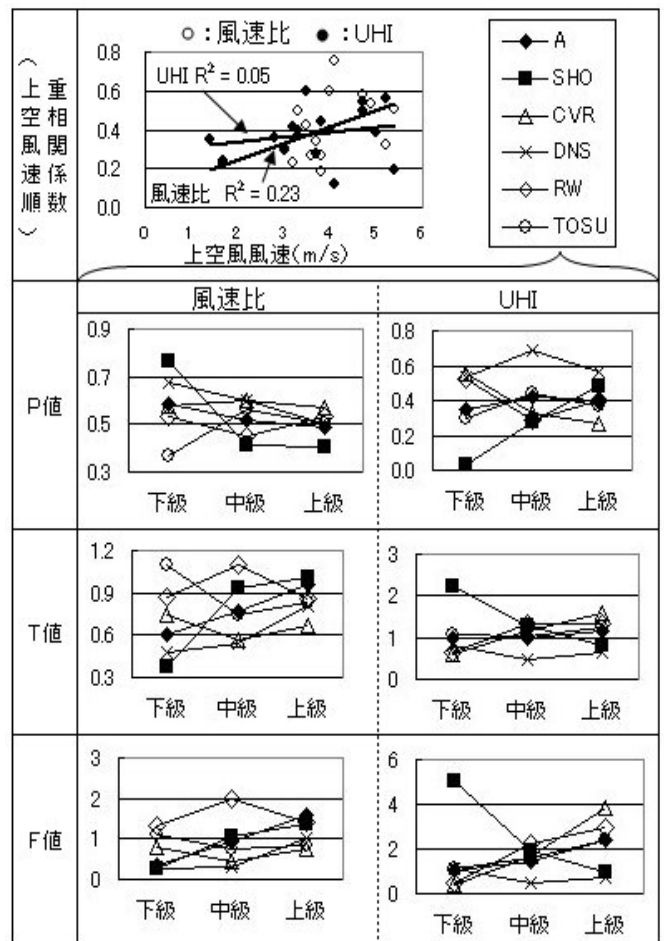


図12 多変量解析結果

上空風を三つの風速階級に分けた上、階級別に多変量解析を行い、パラメータの優位性と上空風風速の関連性を分析し、結果を図12と、図13、図14に整理した。図12は全てのパラメータを合わせて、本報で取り上げた都市街区形状パラメータの総合的な優位性を評価するため、風速比・UHIに対する重相関係数や、P値・T値・F値を風速階級別に表しているが、図13と14はパラメータ項目毎にそれぞれが風速比やUHIともつ関連性を風速階級別に表している。

図12の上部は上空風速と重相関係数の関係、下部はパラメータ毎のP値とT値、F値を上空風速階級別に表している。図12の上部を見ると、風速比・UHI両方ともに統計的な有意性は上空風速の上昇と一緒に上がる傾向が見られ、風が吹くと総合的な有意度も上がることから、本報のパラメータの総合的な優位性は上空風が比較強く吹いている時間帯において都市設計を検討する上で有意であるが、R2乗値を比べるとUHIよりは風速比の方が大きいことから、風速比をよりよく説明していることがわかる。また各項目のP値とT値、F値から、風速比の方では特に中・上級風速における比較的に有意性が各パラメータに見られるのに対し、UHIはバラツキが大きい。

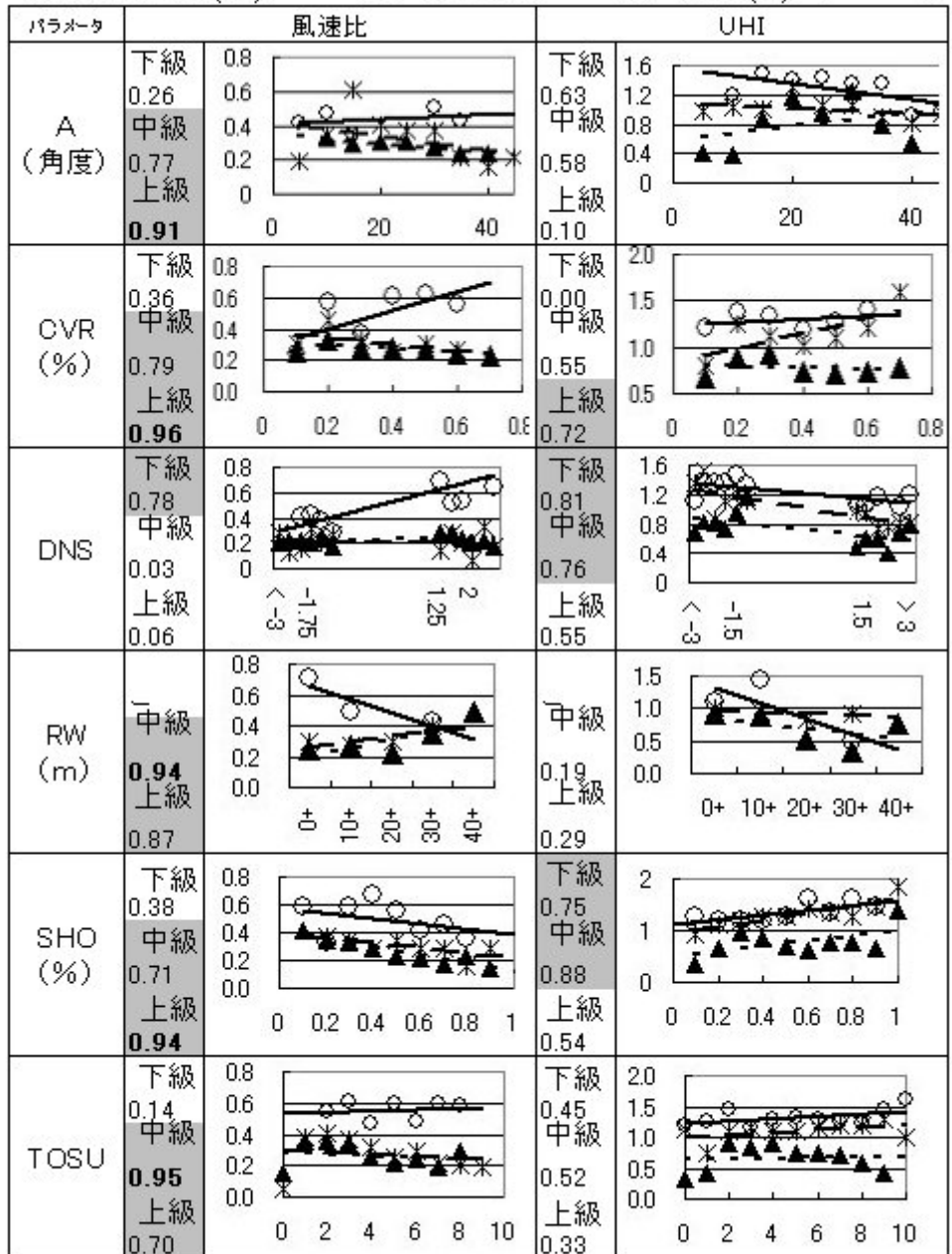
図13は横軸に該当パラメータ、縦軸にパラメータの単位当たり平均風速比、若しくは平均UHI値を示しており、パラメータの増加により風や温度がどう変わるかを検討した。各図中には対象変数に対する風速階級別単相関係数が示してあるが

(0.7以上：グレーの網掛け、0.9以上：太字)、図14にもまとめてある。

この単相関係数の各値をみると、風速階級が高ければ高いほど、DNS以外の全てパラメータ項目は図12と同様に、風速比を上手く説明しているが、UHIに関しては高い相関係数が少なく、本稿で取り上げたパラメータは温熱環境を説明には限界があることが明らかになった。これは、街区内の温度は風上粗度要素の形状の他にも周辺熱源からの放射や日射量などにも影響を受けていると考えられるからである。しかし、本報のパラメータは通風環境においては一通りの成果は得られていると考える。

図13の統計分析結果を比較すると、各パラメータ項目の特徴が現れてくる。理論的には、風速比はDNSとRWの増加により増加し、その他のパラメータでは減少するはずである。中級・上級の風速階級においては、風速比・UHIとの関係はほぼ全て理論通りになっているが、CVRやRWでは、下級風速の結果が理論通りではない傾向にある。これはデータ数が少ないことによる自然なバラつき、若しくは風が弱い時に当パラメータと関連性が薄いことが考えられる。SHOの風速比関

[近似線]上級:(*)[.....]、中級:(▲)[-..]、下級:(○)[——]



単相関係数の表示:0.7以上はグレー網掛け、0.9以上は太字

図13 各パラメータと風速比・UHIの関係(上空風の風速階級別)

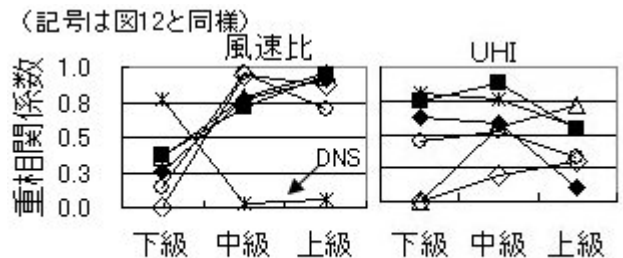


図14 上空風風速階級別の重相関係数

連の各値を見ると、上空風速が下級から上級に移転すると他パラメータの統計的な強度は上がっていくことから、上空風速が大きいとき、風上要素の正面が大きければ大きいほど上空風が干渉される結果である。しかし、UHIはSH0の各値がその反対の傾向にあり、これは太陽高度が低い時陰になっている影響の可能性がある。また、CVRのUHI結果を見ると、上空風がより強いとき強度が上がることから、これは風が吹くと風上建築物により暖められた空気が運ばれてくる可能性が考えられる。またRWの上級風速における結果においても、風速比とUHIは逆な関係を表しており、これは上空風の風速が高くなる時、道路の幅が広いにも関わらず、風上干渉物が多いとその風通しが遮られるのに対して、上空風速の高い昼間においては幅の広い道路が比較的太陽光にさらされることから、UHIとの有意性が比較的高くなっていると考えられる。

3.3まとめ

- (1) 平成16年と17年で実測した風速と温度データを用いて、200m風上方向にある粗度要素の形状を6つの簡易化形状パラメータで表現し、それぞれのパラメータが通風・温熱環境に及ぼす影響を三つの風速階級系における検討した。
- (2) 本稿で取り上げた形状パラメータは通風環境を説明するには有意だが、温熱環境を説明するには限界がある。
- (3) 対象地域の上空に風速2.7m/s以上の風が吹くと、上空風風向に対して道路の方位(A)と、粗度要素被覆率(CVR)、道路の幅や粗度要素間隔(RW)、敷地に対する粗度要素の正面高さ割合(SH0)、粗度要素の数(TOSU)が都心街区の内部空間高さ2mにおける風通しに最も影響を与える。
- (4) 将来、将来、夏季ヒートアイランド現象の緩和や都心街区における換気性を工夫するには、道路の方位を対象地域に吹く上空風の主風向に合わせるのが望ましい。そして、建物群で形成されるストリートキャニオン段差については、風下側の側面が高くなるように整備することが有効的である。ただし、ストリートキャニオンは周辺地域と空間的に連続しているので、周辺への影響も考慮する必要がある。

注1) デジタル標高データは国際航業(株)のラムゼサーフェス(レベル1)を利用した。計測日付が2001年の1月と、3・4月であり、高さ制度(標準偏差)が±15cmの約2m間隔のランダム点群である。建物のデータは2000年の神奈川県都市情報システムのポリゴンデータ(HOUSE2000、平成12年度基礎調査、建物現状)を使用した。緑地は横浜市環境創造局が提供している航空写真から得られた緑地ポリゴンデータを使用した(撮影日付:2004年4~6月)。緑地の高さも建物と同様に算出したが、屋上空間がより統一な建物より、上層部高さと形状がかなりばらつく緑地にこの高さ算出方法を行っても精度が劣る恐れがある。しかし、緑地が本稿の最終分析の対象となっているCN地区の総面積のごくわずか(6%)しか占めていないことを配慮にいれ、緑地の平均高さ精度が多少ずれても最終的な結果に及ぼす影響が少ないと判断した。

参考文献

- 1) ヒートアイランド対策関係府省連絡会議: ヒートアイランド対策大綱、2004.3
- 2) 上原清 et al. 温度成層下のストリートキャニオン内部流れに対する道路幅の影響に関する風洞実験。市街地における汚染物の拡散に関する実験的研究その4。日本建築学会 計画系論文集, 第510号, pp.37, 1998. 8
- 3) 上原清 et al. 高さの異なるストリートキャニオン内の流れと拡散に関する風洞実験。市街地における大気汚染物質の拡散に関する実験的研究 その6。日本建築学会 計画系論文集, 第541号, pp. 37, 2001.3
- 4) 福田亜佐子, 佐保満夫。横浜市環境科学研究所。横浜市のヒートアイランドの現状—2002年~2003年の結果—, 2003
- 5) Gash, J.H.C. and Kabat, Further insight from large-scale observational studies of land/atmosphere interactions. *Vegetation, Water, Humans & The Climate*, pp. 229-233, 2004
- 6) Grimmond, CSB, and Oke, Aerodynamic Properties of Urban Areas Derived from Analysis of Surface Form. *J Appl Meteorol*, Vol. pp. 1262 – 1292, 1998
- 7) 橋本剛 et al: 海風の運河遡上による都市暑熱環境の緩和効果、日本建築学会計画系論文集, 第545号, pp.65, 2001. 7
- 8) Horst T.W., The Footprint For Estimation of Atmosphere-Surface Exchange Fluxes by Profile Techniques, *Boundary-Layer Meteorology*, Vol. 90, pp. 171-188, 1999.
- 9) Klujn N., et al. A Simple Parameterisation for Flux Footprint Predictions. *Boundary-Layer Meteorology*, Vol. 112, pp. 503-523, 2004
- 10) 久保田徹 et al: 風通しを配慮した住宅地計画のための全国主要都市におけるグロス建ぺい率の基準値、建築群の配置・集合形態が地域的な風通しに及ぼす影響(その2)、日本建築学会 計画系論文集, 第556号, pp. 107-114, 2002. 6
- 11) Pearlmuter, D., and Berliner. P. Evaluation of Urban Surface Energy Fluxes Using an Open-Air Scale Model. *J Appl Meteorol*, Vol. 44, No. 4, 2005.4
- 12) Raupach. Simplified expressions for vegetation roughness length and zero-plane displacement as functions of canopy height and area index. *Bound.-Layer Meteor.*, 71, 211-216. 1994
- 13) Schmid, H. P. Footprint modeling for vegetation atmosphere exchange studies: a review and perspective. *Agricultural and Forest Meteorology*. 113. 159-183. 2002.
- 14) 菅原広史。風の道に利用可能な自然の冷熱源の種類と影響範囲。第15回空気シンポジウム: 都市空間の換気・通風と風の道, pp. 23 – 26, 2006.9
- 15) Baklanov, A. Parameterisation of the nocturnal UBL for NWP and UAQ models. Danish Meteorological Institute. D4.6 FUMAPEX Report. 2004.6