

建物壁面間の距離の最大値分布と最小値分布

薄井 宏行*

Statistical distributions of maximum and minimum intervals between adjacent building walls

Hiroyuki USUI

Abstract: A method for measuring intervals between adjacent building walls is developed by utilizing ordinary Voronoi cells which are the by-product in generating area Voronoi diagrams whose generators are polygons representing building shapes. Then, statistical distributions of the maximum and minimum intervals between adjacent building walls in the downtown districts of Sumida ward are investigated in terms of building density (the number of building per unit area) and road width. Results show that (1) irrespective of building density, the minimum intervals range from approximately 0 to 1.5 meters; and (2) the statistical distribution of the maximum intervals without crossing a road segment of a building is more left-skewed than that with crossing.

Keywords: 壁面間距離(interval of building walls), ボロノイ図(Voronoi diagrams), 建物棟数密度(building density), 距離分布(interval distribution), 密集市街地 (densely built-up area)

1. はじめに

既成市街地は様々な形状をもつ建物の集合で構成される。既成市街地における良好な住環境を確保するために、個々の敷地において建蔽率（建物面積／敷地面積）が規制されている。建蔽率を規制する主な目的は、建物の周辺に空地を確保するためである。ところが、建蔽率規制は建物壁面の位置を直接規制しないため、敷地の規模と形状が多様かつ実建蔽率の値が多様であるほど、敷地境界線と建物壁面の位置関係は多様となる。個々の敷地における建物壁面位置の多様さは、建物群の相隣関係を定量的に評価することを困難にしている。とくに、隣棟関係にある建物の壁面間距離は、地域における住環境の安全性（延焼リスク）や快適性（通風、採光、遮音等）を評価するために重要である（青木, 2006; 小浦, 2001）。

ところが、ある建物と隣棟関係にある建物の特定や壁面間距離の計測を恣意性なく行うことは難しい。本稿では、建物の位置関係に基づき、建物の隣棟関係を定義する。建物の平面形状を表す建物ポリゴンを生成元とする面ボロノイ図を生成し、面ボロノイ図を構成する領域（面ボロノイ領域）の隣接の有無に基づいて、建物の隣棟関係を定義する（第3節にて詳述）。続いて、面ボロノ

イ図を生成する過程で生じる点ボロノイ領域を用いて、隣棟関係にある建物の壁面間距離（以降、「壁面間距離」と記す。）を定義する（第4節にて詳述）。任意の建物について、壁面間距離の最小値、最大値、そして最大値と最小値の差を計測し、地域におけるそれぞれの統計分布と建物棟数密度及び道路幅員との関係を考察する。

2. 既往研究の整理と本稿の位置づけ

本稿に関連する既往研究として、隣棟関係の定義としてVoronoi型、Euclid型、Vertical型を提案し、それぞれの定義に基づく隣棟関係の相違を明らかにしたものがある。建物の近接指標として、1)各建物と隣棟関係にある建物棟数、2)壁面間距離の最小値、最大値、平均値に着目し、隣棟関係の定義の違いによる各指標値の相違を詳細に考察した結果、隣棟関係の定義の違いは壁面間距離の最小値の相違に影響を及ぼさない一方、壁面間距離の最大値の相違に影響を及ぼすことが明らかにされている。さらに、各近接指標と敷地面積、建物面積及び建蔽率との相関係数を算出した結果、建蔽率と各近接指標の相関係数は敷地面積や建物面積との相関係数よりも弱いことから、建蔽率の値が同じであっても、各近接指標

* 正会員 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 (The University of Tokyo)
〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 E-mail : usui[at]ua.t.u-tokyo.ac.jp ※[at]は@

は多様となることが明らかにされている（市古・権，2002）．上述の各近接指標を街区単位で評価する方法も提案されている（市古，2004）．

また，市街地の平均的な相隣関係を表す指標として，建物棟数密度（グロス）の逆数の平方根に着目したもの（腰塚，1988），市街地の平均的な物的環境を表す情報として，建物棟数密度と敷地面積の統計分布の重要さを指摘したものがある（腰塚・古藤，1989）．また，敷地形状は矩形かつ建物の平面形状と敷地は互いに相似であると仮定することで，敷地奥行と建物奥行の差として定義される「建物前面配置自由度」と道路延長密度および建蔽率の関係が定式化されている（薄井・浅見，2011），さらに，均一な面積をもつ正方形建物の格子状モデルを拡張し，1)任意の正方形敷地とフォン・ノイマン近傍にある隣接敷地の面積は等しい，2)敷地と建物の図心は互いに一致する仮定のもとで，建物敷地の確率密度関数（対数正規分布）の変数変換により，壁面間距離の確率密度関数が導出されている（薄井・寺木，2018）．ところが，壁面間距離の最大値と最小値の各統計分布と建物棟数密度及び道路幅員との関係は十分に明らかにされていない．

前述のように，都市計画において，隣棟関係にある建物の壁面間距離は，地域における住環境の安全性（延焼リスク）や快適性（通風，採光，遮音等）を評価するために重要である．とくに，各建物における壁面間距離の最小値とその統計分布は延焼リスクを安全側に（厳しく）評価するために重要である．また，壁面間距離の最大値と最小値の差（以降，「壁面間距離の範囲」と記す．）の分布（以降，「壁面間距離の範囲の分布」と記す．）に基づいて，壁面間距離の多様さや均一さを評価することができる．もし，壁面間距離の範囲の分布がゼロの近傍に分布すれば，壁面間距離は均一の傾向にあると評価できる．他方，壁面間距離の範囲の分布の標準偏差が大きければ，壁面間距離は大小さまざまな傾向にあると評価できる．

このように，本稿は新規性と独自性だけでなく，都市計画における高い実用性を有するものと思われる．以降，第3節において，建物の位置関係に基づき建物の隣棟関係を定義する方法を詳述する．第4節において，壁面間距離の定義と計測方法を詳述し，任意の建物について，

壁面間距離の最小値，最大値，壁面間距離の範囲を計測する．第5節において，実市街地における壁面間距離の最大値，最小値，範囲の各統計分布と建物棟数密度及び道路幅員との関係を考察する．第6節において，結論と都市計画への示唆を述べるとともに今後の研究課題を示す．

3. 建物の隣棟関係の定義

前節において詳述したように，隣棟関係の定義としてVoronoi型，Euclid型，Vertical型が提案されている．本稿では，Voronoi型に基づいて建物の隣棟関係を定義する．

Voronoi型は，建物の平面形状を表す建物ポリゴンを生成元とする面ボロノイ図を生成し，面ボロノイ図を構成する領域（面ボロノイ領域）の隣接の有無に基づいて，建物の隣棟関係を定義する．図1のように，面ボロノイ図は，理論的には点ボロノイ図と同様に定義される．実用的には，生成元となる建物ポリゴンの辺を十分多くの離散点群にすることで，点ボロノイ図を生成し，建物ポリゴンのIDと同一のIDをもつ点ボロノイ領域を融合することで，面ボロノイ図を生成することができる（薄井・浅見，2013；Usui, et al, 2020）．以降，建物ポリゴン B_i を生成元とする面ボロノイ領域 $AV(B_i)$ を建物敷地と定義する．

図1のように， $AV(B_i)$ と $AV(B_j)$ が互いに接するならば， B_i と $B_j \in N(i)$ は互いに隣棟関係にあると定義する．ただし， $N(i)$ は建物ポリゴン B_i と隣棟関係にある建物ポリゴンの添字集合を表す．図2のように，面ボロノイ図の双対図形として，面ドローネ図を定義する（Usui, et al, 2020）．黒色の実線は，建物ポリゴン B_i の図心 G_i と $B_j \in N(i)$ の図心 G_j を面ドローネ辺 $e_{i,j \in N(i)}$ として描いたものである．任意の面ドローネ辺について，道路 R との交差の有無に着目する． B_i と隣棟関係にある建物ポリゴンの集合 $\{B_j \in N(i)\}$ のうち，道路の対岸（隣接街区）に存在する建物ポリゴンとの壁面間距離（とくに最大値）のほうが長い傾向にあると予想される．そこで，黒色の太線のように， $e_{i,j \in N(i)}$ が道路 R と交差ししない隣棟関係にある建物 B_j の添字集合を $N_{NR}(i)$ ，黒色の細線のように道路 R と交差する隣棟関係にある建物 B_j の添字集合を $N_R(i)$ と表記すると，添字集合 $N(i)$ は添字集合 $N_{NR}(i)$ と添字集合 $N_R(i)$ の和集合となる．

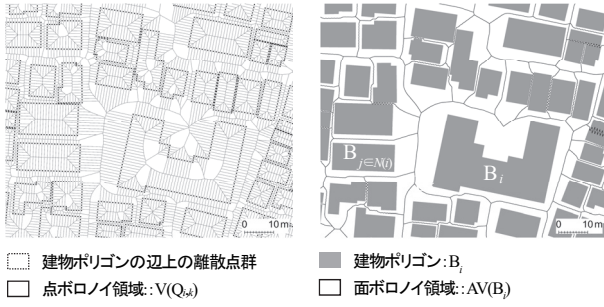


図1: 建物ポリゴンを生成元とする面ボロノイ領域.

(左: 建物ポリゴンの辺上における間隔1mの離散点群に基づく点ボロノイ領域, 右: 建物ポリゴンのIDと同一のIDをもつ点ボロノイ領域を融合したもの)

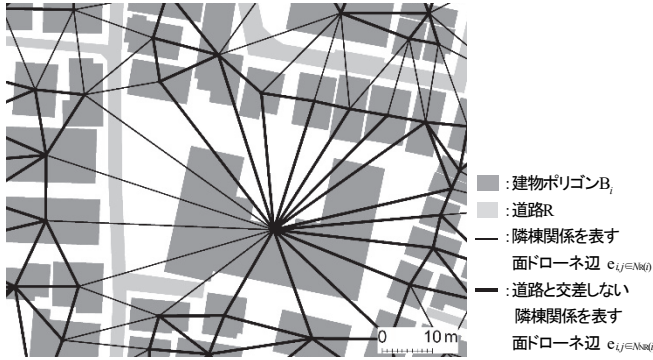


図2: 建物の隣棟関係の定義.

4. 壁面間距離の定義と計測方法

面ボロノイ図を生成する過程で生じる点ボロノイ領域に着目する. 図3のように, 建物ポリゴン B_i の辺上における任意の離散点 $Q_{i,k}$ を生成元とする点ボロノイ領域の集合 $V(B_i) = \{V(Q_{i,k}) | k=1, \dots, m_i\}$ を考える. ただし, m_i は建物ポリゴン B_i の辺上における離散点群の総数を表す. 集合 $V(B_i)$ のうち, B_i の頂点を含む点ボロノイ領域 (図3の白色または淡灰色 (道路を表す) の領域) を除くと, 建物ポリゴンと重ならない領域 (図3の濃赤色または淡赤色の領域):

$$W(Q_{i,k}) \equiv V(Q_{i,k}) - \{V(Q_{i,k}) \cap B_i\} \quad (1)$$

は近似的に矩形領域と見なすことができる. 以降, $W(Q_{i,k})$ の面積を $A(W(Q_{i,k}))$ [m²], 建物ポリゴンの辺上の離散点の間隔を ε [m]とそれぞれ表記する. このとき, 点 $Q_{i,k}$ から敷地境界線までの距離は $A(W(Q_{i,k})) / \varepsilon$ [m]となる.

図3のように, 互いに隣棟関係にある点ボロノイ領域 $V(Q_{i,k})$ と $V(Q_{j \in N(i), l})$ が互いに接する辺 (ボロノイ辺) は線

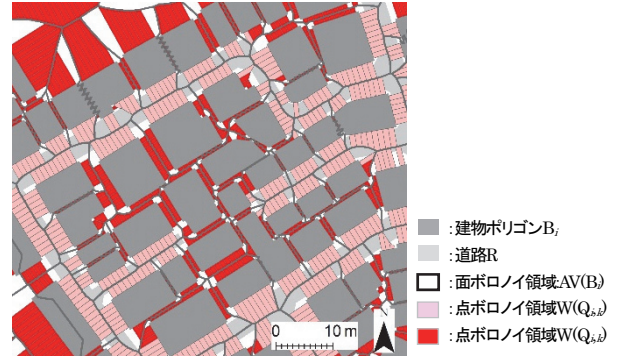


図3: 壁面間距離の定義と計測方法.

分 $Q_{i,k}Q_{j \in N(i), l}$ の垂直二等分線である. 従って, 任意の点 $Q_{i,k}$ について, 壁面間距離 $u_{i,k}$ は次式のように定義される:

$$u_{i,k} = 2A(W(Q_{i,k}))/\varepsilon, \text{ for } \forall i, k \in \{1, \dots, m_i\}. \quad (2)$$

B_i の周長が L_i のとき, m_i は ε の設定に依存する. 以降, $\varepsilon = 1$ [m]に設定することで, $m_i \cong L_i$ となる.

4.1. 隣棟関係にあるすべての建物の場合

道路 (図3の淡灰色の領域) との交差の有無を考慮しない場合, 図3の濃赤色または淡赤色の領域に着目する. このとき, 壁面間距離の最大値と最小値は次式のように表記できる:

$$u_{\max, i} \equiv \max_{k \in \{1, \dots, m_i\}} u_{i,k}, \text{ for } \forall i, \quad (3)$$

$$u_{\min, i} \equiv \min_{k \in \{1, \dots, m_i\}} u_{i,k}, \text{ for } \forall i. \quad (4)$$

このとき, 壁面間距離の範囲は次式のようにになる:

$$u_{\text{dif}, i} \equiv u_{\max, i} - u_{\min, i} \geq 0, \text{ for } \forall i. \quad (5)$$

4.2. 道路と交差しない隣棟関係にある建物の場合

道路と交差しない隣棟関係にある建物の場合, 図3の濃赤色の領域のみに着目する. このとき, 壁面間距離の最大値と最小値は次式のように表記できる:

$$u_{\max, i, j \in N_{\text{NR}}(i)} \equiv \max_{k \in \{1, \dots, m_i\}} u_{i, j \in N_{\text{NR}}(i), k}, \text{ for } \forall i, \quad (6)$$

$$u_{\min, i, j \in N_{\text{NR}}(i)} \equiv \min_{k \in \{1, \dots, m_i\}} u_{i, j \in N_{\text{NR}}(i), k}, \text{ for } \forall i. \quad (7)$$

このとき, 任意の建物ポリゴン B_i について, 壁面間距離の範囲は次式のようにになる:

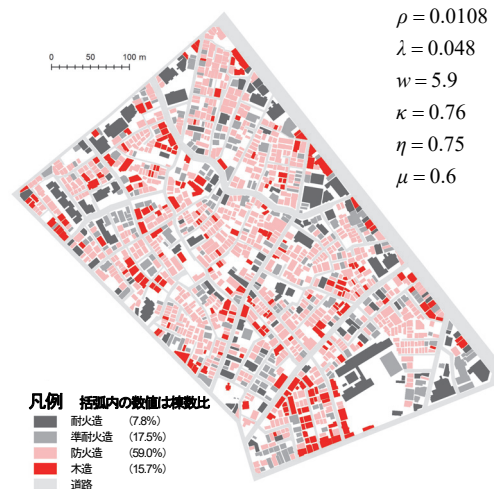
$$u_{\text{dif}, i, j \in N_{\text{NR}}(i)} \equiv u_{\max, i, j \in N_{\text{NR}}(i)} - u_{\min, i, j \in N_{\text{NR}}(i)} \geq 0. \quad (8)$$

5. 建物壁面間の距離の最大値分布と最小値分布

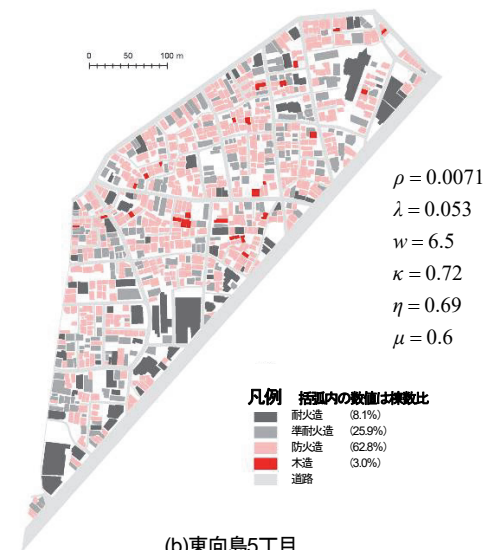
第3節で既述したように、道路と交差する隣棟関係にある壁面間距離のほうが道路と交差しない隣棟関係にある壁面間距離よりも長い傾向にあると予想される。以降、道路との交差の有無に基づいて場合分けすることで、壁面間距離の最大値分布、最小値分布、範囲の分布と建物棟数密度及び道路幅員との関係を考察する。

実市街地として、「地震時等に著しく危険な密集市街地（国土交通省都市局都市安全課・住宅局市街地建築課市街地住宅整備室、2012）」に該当し、互いに近接する町丁目として、地震に関する地域危険度が極めて高い東京都墨田区京島3丁目と東向島5丁目、戦災復興区画整理事業が施行され地域危険度が低い石原3丁目を選定する。京島3丁目と東向島5丁目の建物棟数密度（グロス）（以降、「建物棟数密度」と記す。）はそれぞれ108棟/haと71棟/haである一方、石原3丁目の建物棟数密度は54棟/haである。平均道路幅員はそれぞれ5.9m、6.5mそして10.0mである。図4は、対象町丁目における建物の配置と構造種別を描いたものである⁽¹⁾。図4から、木造建物と防火造建物は互いに隣接していることがわかる。

図5は、対象町丁目における、隣棟関係にあるすべての建物の壁面間距離の最大値分布、最小値分布、範囲の分布をヒストグラムとして描いたものである。図5から、壁面間距離の最小値は、建物棟数密度の大小に関らず1.5mまでの範囲に分布していることがわかる。壁面間距離の最小値の平均は、0.55m（京島3丁目）、0.54m（東向島5丁目）、0.7m（石原3丁目）である。標準偏差は、0.43m（京島3丁目）、0.52m（東向島5丁目）、0.88m（石原3丁目）であり、建物棟数密度が大きいほど標準偏差は小さい傾向にある。変動係数を算出すると、0.77（京島3丁目）、0.97（東向島5丁目）、1.22（石原3丁目）であり、建物棟数密度が大きいほど変動係数は小さい傾向にある。壁面間距離の最大値の平均は、7.52m（京島3丁目）、8.73m（東向島5丁目）、12.68m（石原3丁目）である。標準偏差を算出すると、5.39m（京島3丁目）、6.06m（東向島5丁目）、7.43m（石原3丁目）である。建物棟数密度が大きく平均道路幅員が狭いほど、標準偏差は平均と同様に小さい傾向にある。また、壁面間距離の範囲の分布と最大値分布の形状は互いに類似し、建物棟数密度が大きく平均道路幅員が狭いほど、標準偏差と平均は小さい傾向にある。



(a)京島3丁目



(b)東向島5丁目



(c)石原3丁目

図4: 建物の配置と構造種別. (ρ : 建物棟数密度 (グロス) [棟/㎡], λ : 道路延長密度 [m/㎡], w : 平均道路幅員 [m], κ : 1一道路率, η : 敷地面積の変動係数, μ : 法定建蔽率)

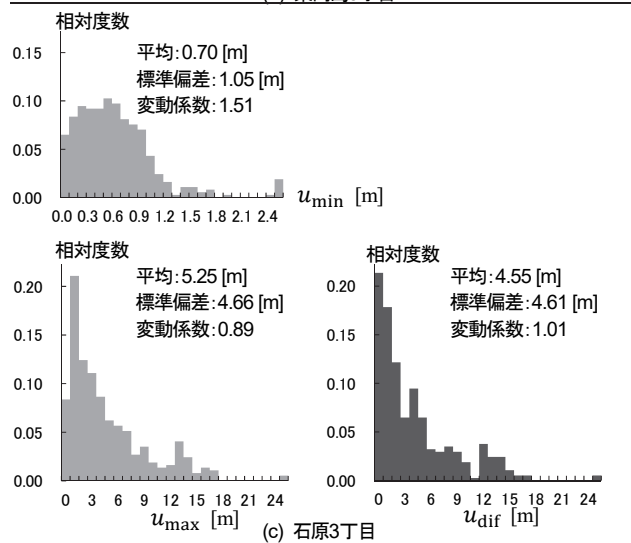
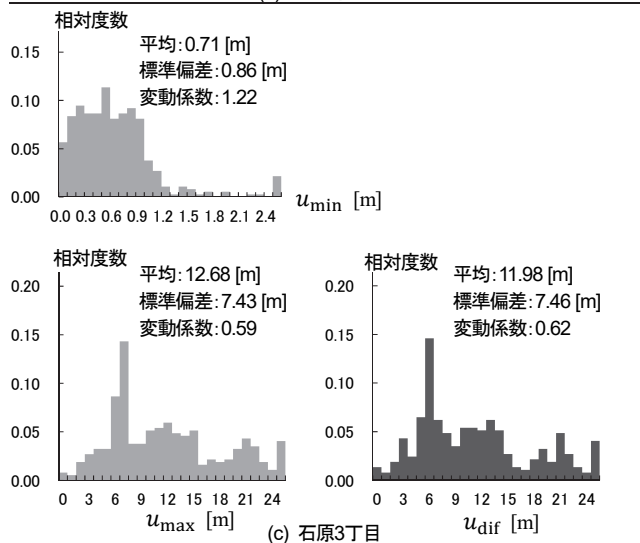
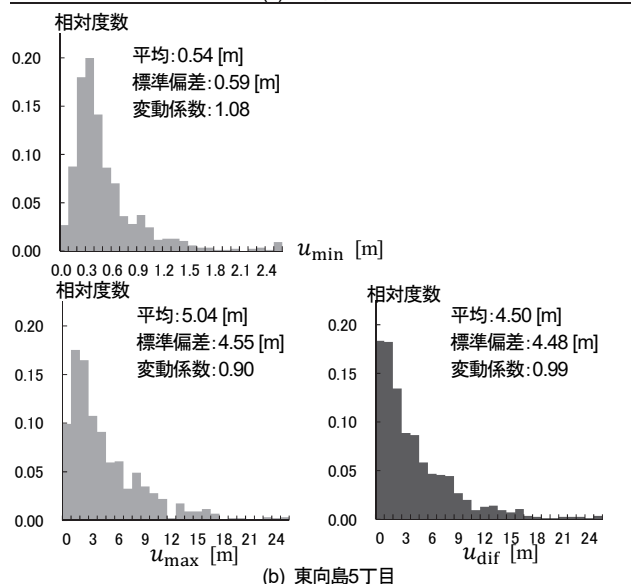
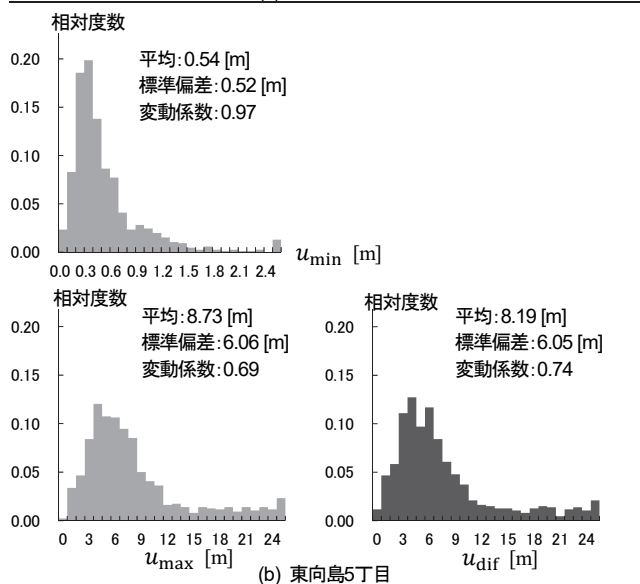
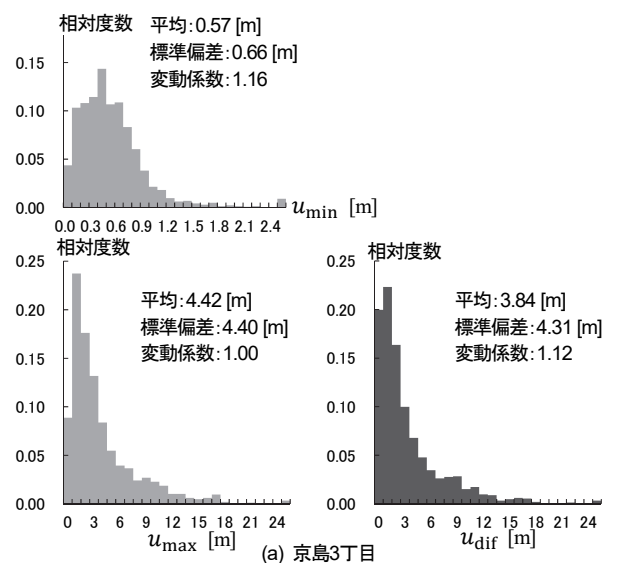
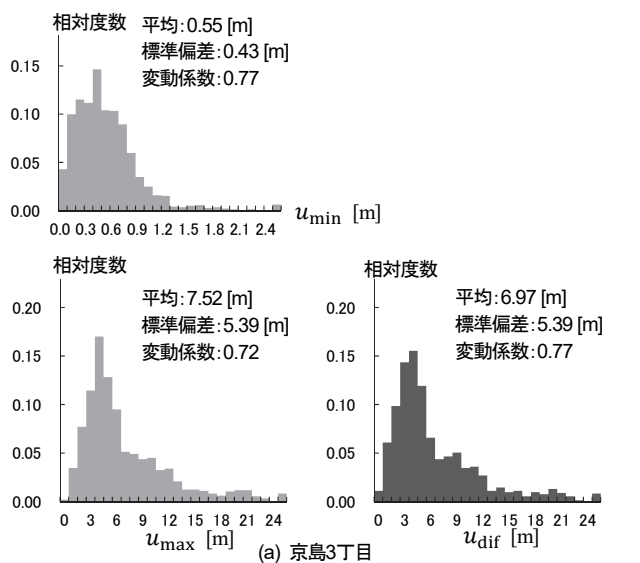


図5: 壁面間距離の最大値分布, 最小値分布, 範囲の分布.
(隣棟関係にあるすべての建物の場合)

図6: 壁面間距離の最大値分布, 最小値分布, 範囲の分布.
(道路と交差しない隣棟関係にある建物の場合)

図6は、対象町丁目における、**道路と交差しない隣棟関係にある建物**の壁面間距離の最大値分布、最小値分布、範囲の分布をヒストグラムとして描いたものである。図5と図6を比較すると、道路と交差しない隣棟関係にある**建物**の壁面間距離の最小値分布は、隣棟関係にあるすべての場合とほぼ同じであることがわかる。ところが、道路と交差しない隣棟関係にある建物の壁面間距離の最大値分布は、隣棟関係にあるすべての場合よりも左に歪んだ分布であることがわかる。壁面間距離の範囲の分布についても同様である。壁面間距離の最大値の平均は、3.84m（京島3丁目）、4.50m（東向島5丁目）、4.55m（石原3丁目）である。標準偏差を算出すると、4.31m（京島3丁目）、4.48m（東向島5丁目）、4.61m（石原3丁目）である。壁面間距離の最大値分布の最頻値は、建物棟数密度の大小に関らず1mである。隣棟関係にあるすべての場合と比較すると、建物棟数密度と壁面間距離の最大値の平均、標準偏差そして最頻値との間において、明瞭な大小関係はないことがわかる。壁面間距離の範囲の分布についても同様の傾向にある。

6. おわりに

本稿では、建物の位置関係に基づき、建物の隣棟関係を定義した。隣棟関係にある建物の壁面間距離を定義し、任意の建物について、壁面間距離の最小値、最大値、壁面間距離の範囲を計測し、地域におけるそれぞれの統計分布と建物棟数密度及び道路幅員との関係を考察した。主要な結論はつぎのとおりである。

隣棟関係にあるすべての建物の場合、壁面間距離の最小値は建物棟数密度の大小に関らず1.5mまでの範囲に分布していることがわかった。建物棟数密度が大きいほど、壁面間距離の最小値の標準偏差と変動係数はそれぞれ小さい傾向にある。他方、建物棟数密度が大きく平均道路幅員が狭いほど、壁面間距離の最大値の平均と標準偏差は小さい傾向にあることがわかった。また、壁面間距離の範囲の分布と最大値分布の形状は互いに類似し、建物棟数密度が大きく平均道路幅員が狭いほど、標準偏差と平均はそれぞれ小さい傾向にあることもわかった。

道路と交差しない隣棟関係にある建物の場合、壁面間距離の最小値分布は、隣棟関係にあるすべての場合とほぼ同じであることがわかった。他方、壁面間距離の最大

値分布は、隣棟関係にあるすべての場合よりも左に歪んだ分布であることがわかった。壁面間距離の範囲の分布についても同様である。壁面間距離の最大値の平均と標準偏差は、建物棟数密度が大きいほど小さい傾向にある一方、最頻値は建物棟数密度の大小に関らず1mであることがわかった。このように、隣棟関係にあるすべての場合と比較すると、建物棟数密度と壁面間距離の最大値の平均、標準偏差そして最頻値との間において、明瞭な大小関係はないことがわかった。壁面間距離の範囲の分布についても同様の傾向にある。

前述のように、都市計画において、隣棟関係にある建物の壁面間距離は、地域における住環境の安全性（延焼リスク）や快適性（通風、採光、遮音等）を評価するために重要である。とくに、各建物における壁面間距離の最小値は延焼リスクを安全側に（厳しく）評価するために重要である。一見すると、町丁目の建物棟数密度が大きいほど、壁面間距離の最小値分布は左にシフトすると思われる。ところが、道路と交差する隣棟関係にあるかどうか、建物棟数密度の大小に関らず、壁面間距離の最小値は1.5mまでの範囲に分布していることがわかった。壁面間距離が1m未満の場合、構造種別に関らず隣棟への延焼確率は高いことから、建物の延焼防止対策は極めて重要である（青木、2006）。また、壁面間距離の範囲の分布に基づいて、壁面間距離の多様さや均一さを評価することができる。一見すると、町丁目の建物棟数密度が大きいほど、壁面間距離の範囲の分布も左にシフトすると思われる。ところが、道路と交差しない隣棟関係にある建物の場合、建物棟数密度の大小に関らず、壁面間距離の範囲の分布の形状は互いに類似し、単調減少かつゼロを最頻値とする分布である。従って、壁面間距離は均一の傾向にあると評価できる。

今後の課題は、壁面間距離の最大値、最小値、範囲の確率密度関数を導出することである。壁面間距離の最小値と最大値はそれぞれ極値分布に従うことが予想される。各分布のパラメータを建蔽率や建物棟数密度等の関数として推定することができれば、建物壁面間距離の各統計分布を簡便に推定することが可能となるだけでなく、建物棟数密度やゾーニング規制としての建蔽率の変化に対する壁面間距離の最小値や最大値の統計分布の変化を見通し良く考察することにも資するだろう。

補注

(1) 図4の建物構造種別については、東京都都市計画地理情報システムデータを使用して作成した。ここに記し謝意を表す。

参考文献

- 青木義次（2006）類焼の確率モデル，『建築計画・都市計画のための数学』，数理工学社，139-154.
- 小浦久子（2001）快適性の評価，『住環境 評価方法と理論』（浅見泰司編），東京大学出版会，87-104.
- 腰塚武志（1988）棟数密度に関する理論的考察，「都市計画論文集」，**23**，19-24.
- 腰塚武志・古藤浩（1989），棟数密度による有効空地の推定，「都市計画論文集」，**24**，337-342.
- 薄井宏行・浅見泰司（2013）敷地の平均奥行の推定とその精度，「都市計画論文集」，**48**（3），357-362.
- 薄井宏行・浅見泰司（2011）建物後退距離と建物および道路密度，「都市計画論文集」，**46**（3），829-834.
- 市古太郎・権昌希（2002），既成市街地における建築物の「近接性」の定量化に関する研究—世田谷区太子堂地区を対象に一，「都市計画論文集」，**37**，7-12.
- 市古太郎（2004）法線走査法による建築隣接空間の定量化—空地の直和分解モデルとその実装—，「都市計画論文集」，**39**（3），679-684.
- 薄井宏行・寺木彰浩（2018）建物棟数密度の減少による延焼確率の減少効果—正方形敷地の仮定に基づく延焼確率分布の導出及び密集市街地における延焼リスク評価への応用—，「都市計画論文集」，**53**（3），1507-1614.
- Usui, H., Teraki, A., Okunuki, K. and Satoh, T. (2020) A comparison of neighbourhood relations based on ordinary Delaunay diagrams and area Delaunay diagrams: an application to define the neighbourhood relations of buildings, *International Journal of Geographical Information Science*. (published online 20200415) (doi: 10.1080/13658816.2020.1748191).
- 国土交通省都市局都市安全課・住宅局市街地建築課市街地住宅整備室，「地震時等に著しく危険な密集市街地」について，日本語，http://www.mlit.go.jp/report/press/house06_hh_000102.html，2020年8月27日．