

令和 3 年 6 月 20 日現在

機関番号：22604

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2020

課題番号：19K23553

研究課題名（和文）天空率・天空率変化・天空図の形状に着目した歩行者のための街路景観の類型化

研究課題名（英文）Categorization of streetscapes for pedestrians focusing on sky view factor, sky view factor change, and fisheye image type

研究代表者

西尾 尚子（Nishio, Shoko）

東京都立大学・都市環境科学研究科・客員研究員

研究者番号：60847713

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、地点の天空率の値と空間構成要素の関係を明らかにすること、天空図形状を類型化し空の見え方の規定要因を探ることである。

始めに、データ収集として、Googleストリートビューの画像を用いたDeep Learningによる画像処理で、約5万地点の天空率算出・天空図作成を行った。算出した天空率と用途地域・道路幅員・建物高さ等との関係をみた結果、建物高さに対する幅員が広いと天空率が高くなる傾向等が確認できた。次に、天空図形状の類型化のために、特徴量を抽出し階層的クラスタリングを行った結果、4つのクラスターに分類することとした。その結果を地図上に可視化しその傾向を考察した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

空間構成要素は、人の行動・感覚に影響を与えており、まちづくり計画や施策に役立てるために街路構造や法則を追究することは重要である。本研究では、空間構成要素の中の空の広さ/見え方に焦点をあて、まずは広域のかつ詳細に天空率/天空図を算出するシステムを構築し、その値の分布を地図上に可視化した。その結果、天空率は建物高さや道路幅員といった空間構成要素の代理として用いることの可能性が示唆された。次に、天空図形状を類型化し、その結果を地図上に可視化し考察した。天空図形状は道路接続状況等を反映しており、まちづくり等の指針策定へ寄与することができると考える。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to clarify the relation between the sky view factor value and the spatial structural elements at each point, and to analyze the factors that define the appearance of the sky by categorizing fish eye image types.

First, we calculated the sky view factor and created fisheye image at approximately fifty thousand points by deep learning for image processing using Google Street view images. As a result of examining the relation between the calculated sky view factor and the land-use zoning type, road width, and building height, we confirmed the tendencies, such as a high sky view factor value with wide roads for the building height. Second, we extracted the feature and conducted the hierarchical cluster analysis in order to categorize the fisheye images. Consequently, the fisheye image types were categorized into four groups, and we visualized the distribution on the map to discuss the tendencies.

研究分野：都市解析、GIS、空間統計

キーワード：天空率 天空図 天空図形状 街路景観 空間構成要素 機械学習

1. 研究開始当初の背景

まちづくり計画や政策に役立てるために、街路構造や法則を追究することは重要である。本研究では、街路の特徴を空間構成要素から抽出し分類することで、まちづくりに資する知見を得ることを目標としており、空間構成要素の1つとして天空率を採用する。天空率は、仮想半球の水平投影面積に対する空の量を表したもの(図1)であり、都市での圧迫感などの心理的指標として用いられることもある。西尾ら(2015)は、人が街路を歩く時に感じる空の広さ(天空率)や刻々と変化する空の広さ(天空率変化)は、開放性といった開放感・明るさなどの感覚や活動性といった歩きたい・楽しいなどの感覚と正の相関があるとしている。このように、天空率は人の感覚と関係があり住みよい都市を考える上で大切な空間構成要素の1つである。一方で天空率の物理的な性質を考えてみると、仮想半球状に映し出される全ての空間構成要素を反映しているものである。そこで、地点の天空率と空間構成要素の関係を明らかにすることで天空率のもつ性質を定量的に明らかにする。しかし、これらの要素が同値であっても、道路接続状況や周辺の地物の影響により天空率は同値にならない(図2)。そこで、道路接続状況等による異なる空の見え方を天空図形状と定義し、その類型化を行うことで空の見え方の規定要因を探る手掛かりを得る。

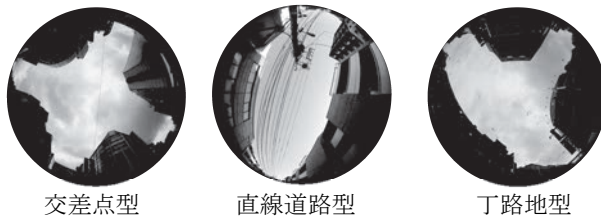
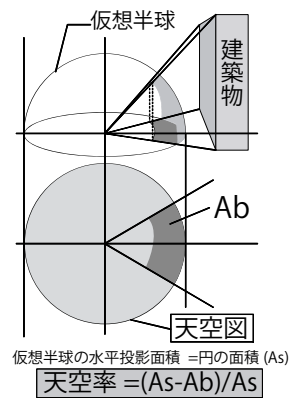


図2 道路接続状況による天空図形状の違い ※天空率はどの型も約45%

2. 研究の目的

本研究ではまず、地点の天空率と空間構成要素の関係を明らかにすることを第1の目的とする。さらに、道路形状等による異なる空の見え方を天空図形状と定義しその類型化を行うことを第2の目的とし、街路空間の特徴を理解する。

3. 研究の方法

(1) 天空率算出と天空図作成方法

天空率の算出方法は、10m 間隔でパノラマ写真が存在している Google ストリートビュー (以下、GSV) の画像から画像処理により求める。細やかな都市の状況を捉えるために1点の天空率を広範囲に求めることができるこの手法は有効である。本システムは(1)GSV から緯度・経度・PanoID を取得するプログラムと (2)PanoID から該当画像を取得保存し、画像処理によって天空率を算出するプログラムの2つからなる(図3)。PanoID とは、GSV の 360° パノラマ画像に与えられている識別番号である。(1)では、パノラマ画像が撮影された地点の緯度・経度・PanoID を広範囲で取得可能なものをウェブブラウザ上に実装し、リスト化した。(2)では、その PanoID に該当するパノラマ画像を取得し、空部分抽出と投影方法の変換を行った。空部分抽出では、Deep Learning を用いたセマンティックセグメンテーションによる領域分割により、空の部分とそれ以外の部分の二値画像を作成した。投影方法の変換では、メルカトル図の二値画像を正射影図に変換し、天空図を作成し全天に対する空の割合を求めた。これらの自動化により、広範囲に渡り 10m 間隔の天空率算出が可能となった。

4. 研究成果

(1) 天空率の算出と可視化

天空率の算出範囲を渋谷区およびその周辺とし、システムより算出した広域かつ詳細な天空率を地図上に可視化した(図4)。対象街路は、人が歩行することができない首都高速道路以外の一般道路とした。精度に問題があると思われる天空率 32%未満と 93%以上の地点は省き、48893 地点の値を使用することとした。取得した天空率の平均値は 55.7%、中央値は 55.5%、標準偏差は 10.2 となった。

(2) 天空率と空間構成要素の関係

① 天空率と用途地域

ここでは、天空率と用途地域の関係から、天空率の性質を探る。用途地域は 13 種類あり、本研究の対象範囲では、そのうち 10 種類の第 1 種低層住居専用地域、第 2 種低層住居専用地域、第 1 種中高層住居専用地域、第 2 種中高層住居専用地域、第 1 種住居地域、第 2 種住居地域、準住居地域、近隣商業地域、商業地域、準工業地域がある。対象範囲内の天空率の値を用途地域別に集計した箱ひげ図を図 5 に示す。用途地域によって天空率に差があるか一元配置分散分析でみたところ、F 値 543.9 で 1% 有意で差があった。次に Tukey の多重比較で各用途地域同士の差を見て、その結果を元に a~f のグループ分けを行った(図 5)。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

最も天空率の平均が高いのは、準住居地域のみが属する d グループであった。これは、この地域の道路延長に占める約 25%は、幅員約 35m の広幅員道路であることが影響していると考えられ、これは他の地域では見られない特徴である。2 番目に天空率の平均が高いのは、a グループとなった。この地域は 4m 以下の狭幅員道路が道路延長の半分以上を占めている。しかし、a グループは容積率もかなり低く定められている第一種低層住居専用地域のため結果的に建物高さが低くなり天空率が高くなったと考えられる。最も天空率の平均が低いのは f グループであ

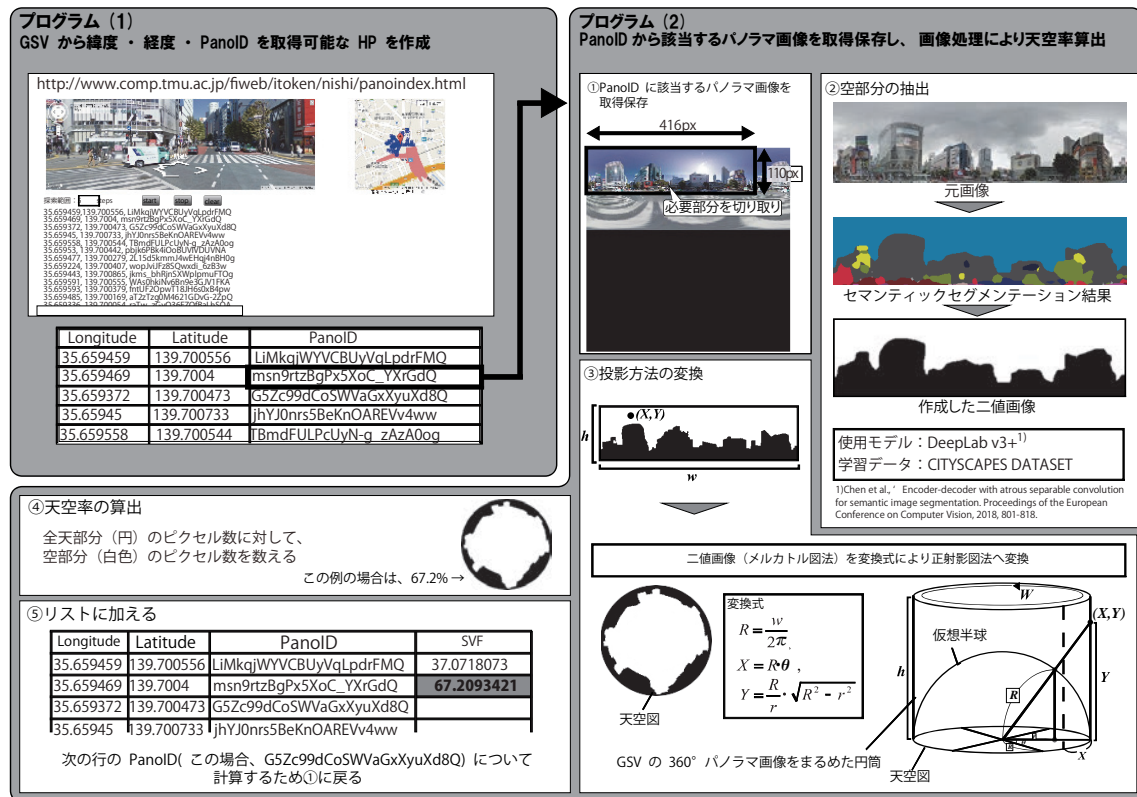


図 3 天空率算出システムの概要

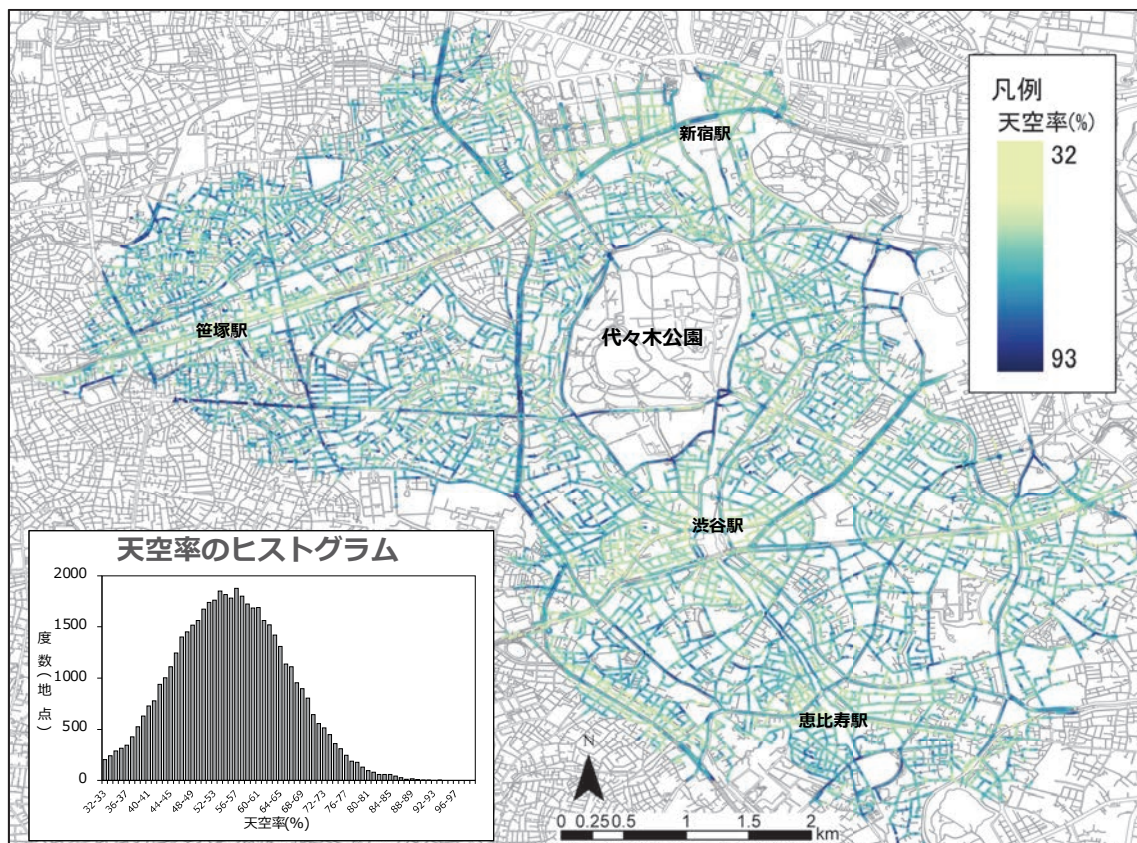


図 4 天空率分布図

た。このグループは商業地域のため、容積率が非常に高く高層ビルなどもあるため、天空率が低くなったと考えられる。また、bグループはどの用途地域も形態規制により建物の最大階数が3階および5階となっており、幅員も5m未満の道路が全体の6割から8割を占めている。形態規制や幅員が類似している地域のため、天空率の平均値に差があるとは言えない結果となったと示唆される。cグループは、住居系と工業系で異なる地域が混在しているが、こちらも形態規制や道路幅員が似ているため、このような結果になったと思われる。全体的に用途地域の形態規制が緩くなるほど天空率は低くなり、建ぺい率・容積率の形態規制が類似している地域の天空率は差があるとはいえないという結果になった。道路幅員や建物高さは天空率に大きく影響を与えていることが示唆されるため、次に建物高さに対する幅員、つまりD/Hと天空率の関係を論じていく。

②天空率とD/H

ここでは、天空率とD/Hの関係から天空率の特徴を探る。幅員データは、MAPPLE10000を使用した。建物高さデータは、その天空率が存在している地点の用途地域の容積率と建ぺい率から最大建物階数を予測し、その建物階数に階高3.5mを乗じて、建物高さとした。図6に、天空率とD/Hの関係を用途地域グループ別に散布図で示した。まずは、天空率がD/Hの影響を受けているかを各用途地域グループ差を考慮した線形混合効果モデルで推定した。分析の際には、ランダム切片モデル、ランダム傾きモデル、ランダム係数モデルの3種類のモデルを検討した。表1よりランダム係数モデルのAICが最も小さく、適合度が高いモデルであることが分かった。固定効果の説明変数であるD/Hを見ると、建物高さに対する幅員が広いと天空率が高くなる傾向が確認できた。

(3) 天空図形状の分類

ここでは、天空図形状に着目し、その特徴量を算出し類型化を行う。まず、天空図形状の画像特徴量として、扁平率、アスペクト比、円形度、凸性、フラクタル次元の5つの指標を検討した。各特徴量の定義は図7に示す。扁平率とアスペクト比は、天空図形状の細長さを定量的に表しており、天空図が反映される空間の道路形状が直線的道路であり、建物高さが均一であることを示している。円形度と凸性は、天空図形状の複雑さを定量的に表しており、天空図に反映される空間の道路形状が交差点であったり、建物高さが不均一であることを示している。フラクタル次元は天空図に反映される地点のスカイラインに対する評価であり、天空図ではなくパノラマ画像を対象とし、ボックスカウンティング法によって算出した。これは、スカイラインの形態とその複雑さから景観の特徴を捉えようとするものである。各指標の基礎統計量は表2に示す。今後の分析に備え、各指標の値は標準化し、以下では、この標準化したデータを使用する。

まず、各指標の相関を確認したところ、スピアマンの相関係数は表2のよう

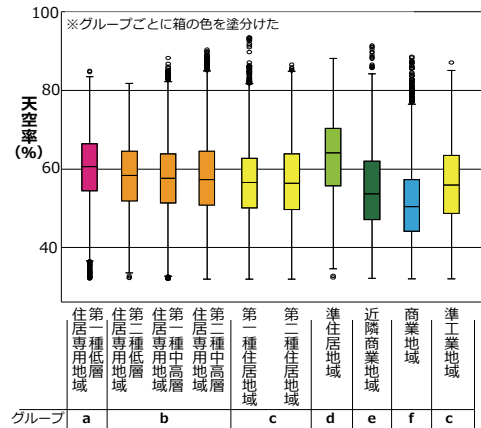


図5 天空率と用途地域

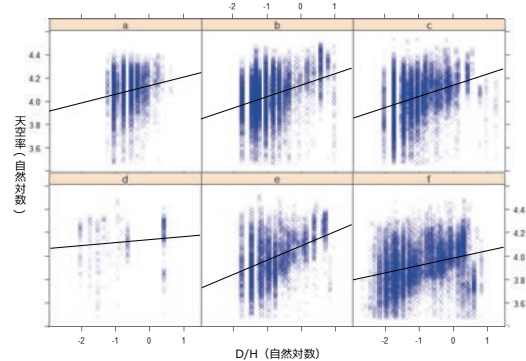


図6 天空率とD/H

扁平率	(長半径-短半径) / 長半径 図形がつぶれるほど1に近い
アスペクト比	長軸の長さ / 短軸の長さ 細長いと値が大きい
円形度	$4\pi \times (\text{面積}) / (\text{周辺長})^2$ 図形が複雑であるほど数値が小さい
凸性	凸包長 / 周辺長 形状が凸凹しているほど0に近い
フラクタル次元	自己相違を持つフラクタル図形の複雑さを表す。 ボックスカウンティング法によって算出。 フラクタル次元のみ、パノラマ画像を使用し、スカイラインから求めた。

※ここでは、フラクタル次元の算出が可能な42179地点を対象とした

図7 天空図形状の特徴量の定義

表1 線形混合効果モデルの結果 (N=48893)

効果	固定	ランダム切片モデル		ランダム傾きモデル		ランダム係数モデル		
		切片	傾き	切片	傾き	切片	傾き	
変量効果	用途地域グループ	a	0.037	-0.050	0.0322	-0.0046		
		b	0.025	-0.010	0.0381	0.0161		
		c	0.016	0.000	0.0310	0.0157		
		d	0.073	-0.061	0.0362	-0.0527		
		e	-0.048	0.058	-0.0171	0.0417		
		f	-0.102	0.063	-0.1204	-0.0161		
	AIC	-34772.69	-32586.71		-35088.25			

**p<0.01

になり、全ての指標同士で有意な相関があった。「扁平率とアスペクト比」「円形度と凸性」では、相関係数が0.9以上となり強い相関があるため、以後の分析では、細長さを表す値としては扁平率を、凸凹具合を表す値としては凸性を使用することとする。

次に、扁平率、凸性、フラクタル次元の3つの指標を変数として階層的クラスター分析を行った。クラスター間の距離の測定法にはウォード法、対象間の距離の測定法には平方ユークリッド距離を使用した。図8のような樹形図ができ、4つのクラスターに分類することとした。各クラスターによって扁平率、凸性、フラクタル次元に差があるかどうか一元配置分散分析で確認した(表3)。その結果、各クラスターによって各特徴量に差があることが分かった。Tukeyの多重比較をしたところ、各特徴量とも、全てのクラスター間の組み合わせで差があるという結果になった。次に、各クラスターの特徴を見ていく。クラスター1は、凸性が0.85と最も低く、天空図形状が凸凹していることを示している。フラクタル次元は最も高く、天空図形状の画像を見てみると、樹木や高架線等の影響を受け、線分が複雑である特徴がみられる。クラスター2は、凸性は0.93、扁平率は0.54であり、画像からは扇型の形が確認できる。クラスター3は、扁平率が0.70と最も高く、画像からも天空図形状が細長いことが確認できる。クラスター4は、扁平率が0.33と最も低く、画像からも丸い形であることが見て取れる。そこで、クラスター1を凸凹型、クラスター2を扇型、クラスター3を細長型、クラスター4を丸型と命名した。

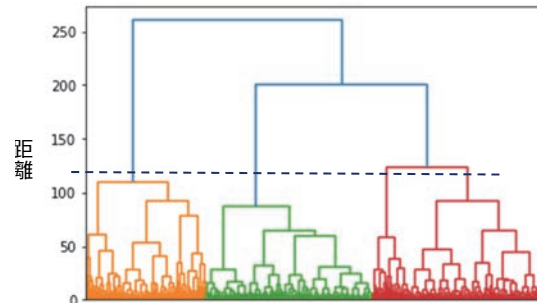


図8 階層的クラスター分析の樹形図

表2 特徴量の相関分析と基礎統計量(n=42178)

	扁平率	アスペクト比	円形度	凸性	フラクタル次元	平均	標準偏差
扁平率	1.000	0.997**	-0.042**	0.133**	-0.132**	0.591	0.128
アスペクト比	-	1.000	-0.046**	0.125**	-0.130**	1.289	0.194
円形度	-	-	1.000	0.900**	-0.335**	0.657	0.089
凸性	-	-	-	1.000	-0.429**	0.911	0.054
フラクタル次元	-	-	-	-	1.000	0.990	0.017

**：p<0.01

表3 各クラスターによる画像特徴量の一元配置分散分析

		クラスター1 クラスター2 クラスター3 クラスター4				One-way ANOVA
		凸凹型 n=11042	扇型 n=11746	細長型 n=15419	丸形 n=3418	
扁平率	M	0.58	0.54	0.70	0.33	F(3,41621)=24767
	SD	0.11	0.07	0.05	0.08	p<.001
凸性	M	0.85	0.93	0.94	0.93	F(3,41621)=15680
	SD	0.05	0.03	0.03	0.03	p<.001
フラクタル次元	M	1.01	0.98	0.98	0.99	F(3,41621)=6360
	SD	0.02	0.01	0.01	0.02	p<.001

天空図形状の例



次に、地図上にクラスターの分布を可視化した(図9)。直線的な街路では、細長型であることも多いが、並木が整備されている場合は樹木の影響を受ける凸凹型であることが示唆される。渋谷駅周辺は高層建物が多いためか扇型がよく見られる。空が広く開けた場所である丸形の数は多くないが、全体に点在していることが示唆される。今後は分類方法等より精査していく予定である。

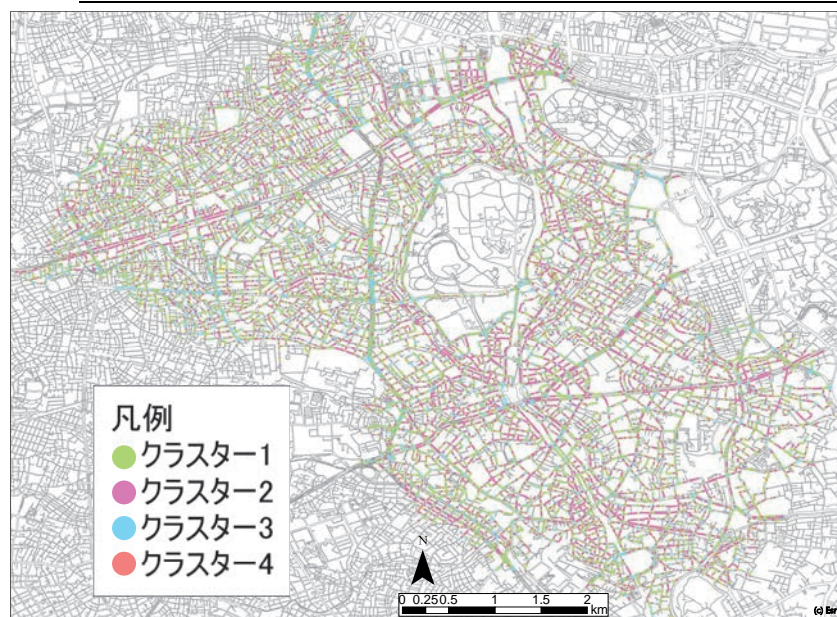


図9 天空図形状分布図

<引用文献>

西尾尚子・伊藤史子「天空率およびその変化が街並みの印象に及ぼす影響について一歩移動時の印象評価実験をもとに」日本建築学会計画系論文集, 2015, vol. 80, No. 710, pp. 907-914.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 西尾尚子・伊藤史子
2. 発表標題 天空率と空間構成要素の関係および天空図形状による空の見え方の規定要因
3. 学会等名 第29回地理情報システム学会研究発表大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------