立地特性による道路分類に基づく空間要素と歩行者数の関係分析

髙山　浩希[1]・中村　一樹[2]・髙木　悠秀[3]

[1]学生会員　名城大学大学院　理工学研究科社会基盤デザイン工学専攻
(〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501)
E-mail: 223433004@ccalumni.meijo-u.ac.jp (Corresponding Author)
[2]正会員　名城大学教授　理工学部社会基盤デザイン工学科 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501)
E-mail: knaka@meijo-u.ac.jp
[3]非会員　株式会社オオバ　名古屋支店 (〒460-0003 名古屋市中区錦 1-19-24 名古屋第一ビル 7F)
E-mail: haru_takagi @k-ohba.co.jp

街路計画のリンク＆プレイス理論では，街路の立地特性で分類される移動と場の機能性に基づく空間デザインが求められている．これに対し，歩行空間整備において，このような機能性がどの程度考慮されているかは定かでなく，どのような空間要素が歩行利用と関係するかは明らかでない．これらを踏まえ，道路の立地特性と空間要素の関係を定量的に明らかにする．まず，道路毎に道路接続性と施設密度を計測し，立地特性に基づいて道路を分類する．そして，道路の空間要素を画像認識により計測し，道路分類毎の空間要素の違いを把握する．最後に，道路の歩行者数を GPS データから計測し，立地特性，空間要素との関係を分析する．この結果，道路の立地特性と空間要素の関係は整合的といえないが，歩行者数と関係する限られた要素は特徴的な関係が示された．

Key Words: *street design, location characteristics, spatial elements, pedestrian volume, GPS*

1. はじめに

経済成長期において自動車交通を重視した道路空間の整備が進められてきた一方で，経済成熟期では地域活力の向上のため歩行者の路上活動を促進するような道路空間利用が注目されている[1)]．欧州では，このような都市の変化を踏まえて，交通計画と都市デザインの両観点から街路計画（ストリートプランニング）のリンク＆プレイス理論[2)]が提唱された．これは，街路を交通移動と活動の場の機能性に基づいて通行空間と滞留空間に分類し，空間の分類を考慮した街路整備を検討するための概念である．ここでは，街路の機能性は地区での立地特性に基づいて段階的に評価され，機能性の組み合わせによって空間が分類される．このため，機能性によって街路整備の方向性は異なり，それぞれで歩行者のニーズを踏まえた歩行空間デザインが求められる．

これに対し，歩行空間整備において，このような街路の機能性がどの程度考慮されているかは定かではない．街路機能を表す立地特性は，交通計画や都市デザインの分野において，道路構造や土地利用に基づき，道路の接続性や都市の開発密度、サービスの多様性として整理されている[3)]．これらは，ウォーカビリティ指標として GIS を用いて客観的に計測することができる[4)]．しかし，これらの指標は研究分析でのみ用いられ，実際の空間整備への適用はほぼ見られない．

このため，立地特性に基づく道路機能が，どのような空間要素と関係するかは明らかではない．道路の機能別に歩行者のニーズに応じた歩行空間整備を行なうためには，実際の歩行利用を踏まえて機能性と空間要素の関係を明らかにする必要がある．このような分析手法として，人の動きを計測した GPS データや道路画像の画像認識の普及によって，様々な分析が可能となってきている．

これらを踏まえ，本研究では，GIS，道路画像，GPS のデータを用いて，名古屋都心部の道路の立地特性と空間要素，歩行者数の関係を定量的に分析する．まず，道路毎に道路接続性と施設密度を計測し，立地特性に基づいて道路を分類する．そして，道路の空間要素を画像認識により計測し，道路の立地特性の分類による空間要素の違いを把握する．最後に，道路の歩行者数を GPS デー

タから計測し，立地特性、空間要素との関係を分析する．

2. 道路指標の整理

(1) 文献レビュー

歩行空間の立地特性は，都市環境に基づく評価指標によって客観的に分析されている．公衆衛生分野から始まった近距離移動と都市環境要因の関係分析では，密度（人口・施設密度），多様性（土地利用構成），道路構造（交差点密度・道路接続性）が徒歩移動と関係する要素として整理されてきた[3]．さらに，これらの要素はGIS によって計測され，世帯密度，土地利用混在度，交差点密度を構成要素とする地区の統合指標は歩行量との関係が検証されており[4]，国内においても地区の歩行量と関係が示されている[5]．また，道路の指標としては道路構造をネットワークと見立てた，グラフ理論に基づく中心性指標や，これを歩行ネットワークに適用したSpace Syntax[6] といった指標が道路の接続性として歩行者量との関係が示されている[7]．

これらの道路の立地特性の指標は，地方都市の都心部を対象に，空間要素と歩行者数との関係が国内でも分析されている．大平ら[8]は，274 本の道路を対象に，沿道の施設割合（飲食店，複合施設），ノード（交差点）とリンク（道路）に基づくネットワーク中心性，バス停や歩道の有無を計測し，実測調査によって計測した歩行者数との関係を分析した．この結果，飲食店や複合施設が沿道に多い街路や，中心性が高い街路と歩行者数の関係が示された．西村ら[9]は，487 本の道路を対象に，本通りまでの距離帯によって道路を分類し，施設の建ぺい率（小売業，飲食業，サービス業），施設距離（商店街，バス停，大型商業施設，コンビニ），歩道・アーケード・ベンチの有無，緑被率と実測調査による歩行者数や滞留者数との関係を分析した．この結果，施設の建ぺい率と距離，歩道の有無は歩行者数との関係が大きく，アーケードの有無は滞留者との関係が示された．

しかし，これらの研究では立地特性に基づいた道路の分類は考慮されておらず，立地特性と空間要素，歩行者数の一般的な関係は明らかにされていない．そこで本研究では，道路の立地特性を考慮して，空間要素と歩行者数との関係を分析する．

(2) 分析手法

本研究では，名古屋市の都心部である中区の全道路（3396本）を対象に，道路の立地特性と空間要素，歩行者数の関係を定量的に分析する．まず，GIS で道路毎に計測した立地特性に基づいて，クラスター分析を用いて道路を分類し，その空間分布を把握する．そして，道路分類別に画像認識により計測した道路画像の空間要素数を比較し，立地特性と空間要素の関係を分析する．最後に，道路分類別に空間要素数とGPSによる歩行者数の関係を重回帰分析によって定量的に分析する．

立地特性としては，道路接続性と施設密度の指標を用いる．道路接続性の指標は，バス停距離，駅距離，複合施設距離，近接中心性，次数中心性を用いた．バス停距離，駅距離，複合施設距離は道路毎の最寄り距離とした．複合施設は，デパート，ショッピングモールを扱った．近接中心性は，交差点をノード，道路をリンクとした道路ネットワーク上で，計測地点から1km圏内の交差点への平均曲がり回数の逆数を計測した．（**式 1**）これは，道路を曲がる回数が少ないほど，経路の分かりやすさを示す．次数中心性は，計測地点から曲がらずに到達できる交差点数を計測した．これは，直接繋がっている道路が多いほど経路選択が幅広いことを示す．

$$C_{c_x} = \frac{N_j}{\sum_{j=1}^{N_j}(d_{xj}+1)} \qquad (1)$$

C_{c_x}：地点xの近接中心性，j：到達交差点
N_j：到達交差点数，d_{xj}：交差点間の曲がり回数

施設密度の指標は，近隣施設数を用いた．ここでは，計測地点の近隣施設の多さを評価するために，200m 圏内の施設数の合計を計測した．小売施設（買い物・飲食店・食料品・喫茶店・書店）と余暇施設（公園・娯楽）を対象とし，施設データは i タウンページより取得した．

空間要素の指標では，各道路の空間要素を詳細に捉えるため，Google ストリートビューの車道目線の道路画像を対象に画像認識を行った．画像認識では，空間要素の面積割合を計測できる deeplab と，空間要素の数を計測できる Yolov5 を用いた．deeplab では緑，空，車道，ビル，フェンス を，Yolov5 では，信号機，標識，ベンチ，椅子，植栽を対象とした．以上の各指標は単位が異なり，計測値を比較することは困難であるため，平均が 0，分散が 1 となるように標準化して用いた．

歩行者数データは，GPS データから抽出した歩行ポイントデータを基に，ArcGISのネットワーク分析を用いて個人別の移動ルートを作成し，道路単位でルート数を集計した．歩行ポイントデータは，歩行者の判定条件として，既往研究[10] を参考に速度 2m/以下，精度 70m以下のGPS データを抽出し，信号待ちの車両の計測を除くために，同じ時間帯で 3 回計測されたデータを対象とした．GPS データは Agoop の「ポイント型流動人口データ」を

用いた．計測時期は 2020 年 9 月を対象とし，平日では 9 月 23 日，9 月 28 日，休日では 9 月 26 日，9 月 27 日を扱い，7時～11時，11時～15時，15時～19時の時間帯とした．これらの分析指標は，ArcGIS Geo Suite の道路ネットワークに基づく道路リンク毎に計測した．

3. 立地特性に基づく道路の分類

中区の道路の立地特性を把握するために，道路接続性と施設密度の指標に基づいて，階層クラスター分析による道路の分類を行った．この結果，接続性が低く施設数も少ない C1，余暇施設が多い C2，近接中心性と次数中心性が高く小売り施設が多い C3，近接中心性だけが高い C4，次数中心性だけが高い C5 の 5 つの道路に分類することができた（図-1）．

これらの空間分布を見ると，C1 は幹線道路から入り込んだ住宅街に多い（図-2）．これは，公共交通の遠さも分布に表れており，移動と場のどちらの機能性も低い道路であるといえる．C2 は栄地区や大須商店街、金山駅といった商業地に多い．これは余暇施設が集積する商業拠点地区で余暇活動の場の機能性が高い道路が多いことを示している．C3 も C2 と同様に商業地である栄地区の中心部に分布しているが，区画整理された碁盤の目状の道路に多く，複合施設への距離も短いことから，商業活動の中心となる場と接続性の高さによる移動の機能性の両面を有した道路といえる．また，C4 も碁盤の目を持つ道路網のほとんどに分布が見られるが，C3 とは異なり区画整理された地区で形成されたビジネス街であり，経済活動のための通勤などに使われる交通機能を有した道路といえる．最後に，C5 は幹線道路に多く，直進性の高い車利用の多い交通移動の機能性を有した道路といえる．

以上より，C1 は移動と場の両機能性が低い道路，C2 は余暇活動の場の機能性が高い道路，C3 は商業活動における移動と場の機能性が高い道路，C4 は経済活動を目的とする交通移動の機能性が高い道路，C5 は直進性の高い車での交通移動の機能性が高い道路として，道路を移動と場の機能性と関連付けることができた．

4. 立地特性と空間要素の関係分析

各分類の道路で空間要素の特徴を把握するために，各道路で道路画像より計測した空間要素数を分類ごとに集計した（図-3）．集計の結果，施設数が多い C2 と C3 では，ビルの割合が高く，空の割合の低さが見られた．これは，活動の場の機能性を持つ施設が多い道路では建物

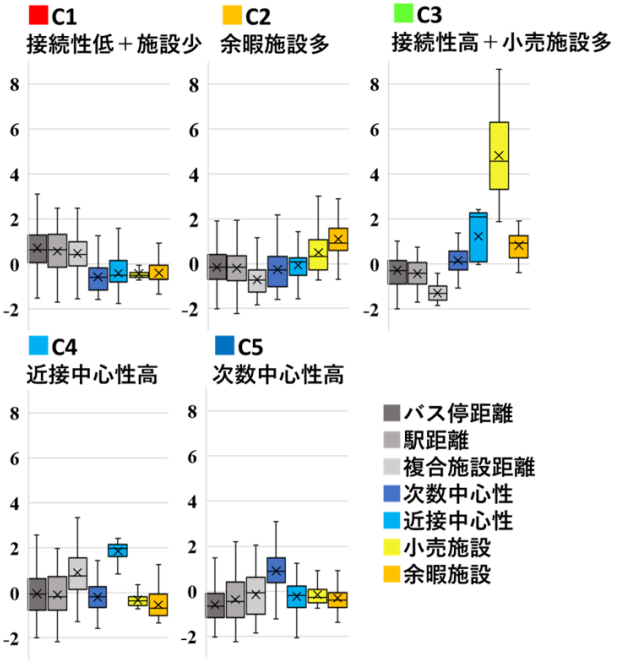


図-1　道路分類別の立地特性

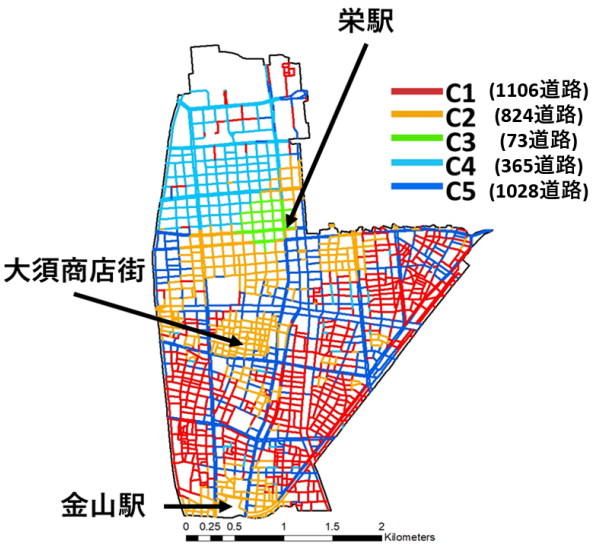


図-2　道路分類の空間分布

が多くなり，視界が遮られる空間の特徴が示された．また，接続性が高い C3，C4 と C5 では，車道と緑の割合が高い傾向が見られた．このうち C3 と C4 は，区画整理された地区であるため，車道が整備されている空間の特徴といえる．また，C5 は幹線道路で多く見られたため，車線数が多い車中心の空間といえる．以上より，場の機能が高い道路では高い建物，移動機能の高い道路では車による交通を想定した空間整備が進んでいると考えられる．これらの結果は，道路接続性や施設密度といった立地特性に基づく空間要素の関係は見られたが，空間デザイン要素に関しては関係が薄く，整合的とはいえないことを示している．

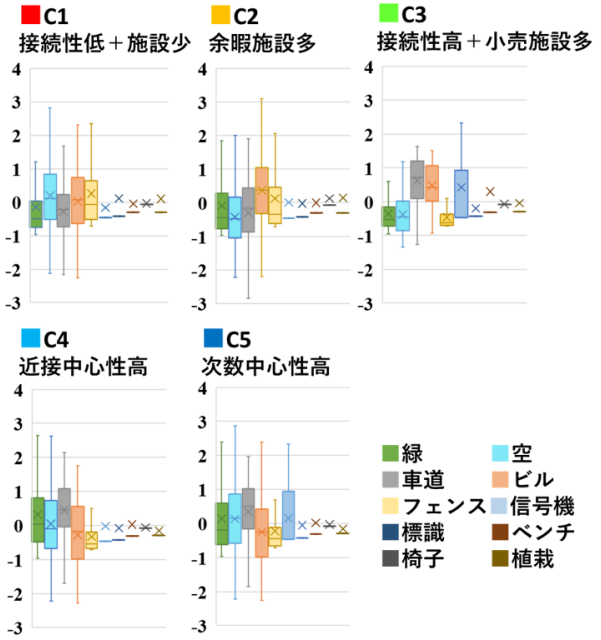


図-3　道路分類毎の空間要素数

5.　空間要素と歩行者数の関係分析

立地特性と空間要素，歩行者数の関係を定量的に示すため，空間要素数と歩行者数の関係について，重回帰分析を行った．ここで，目的変数は各道路の歩行者数，説明変数は道路接続性，近隣施設数，空間要素の指標と時間帯のダミー変数とし，各指標を標準化してステップワイズ法を行った（**表-1**，**表-2**）．分析は，平日と休日のそれぞれで行った．分析の結果，全体的に駅距離，次数中心性，標識，時間帯との関係が示された．特に時間帯としては，休日において午後の時間帯と歩行者数の関係が見られ，歩行者の活動時間が午後に向けて増えていることを示している．加えて，近接中心性が高い C4 では，駅距離や次数中心性に加えて，休日でベンチと歩行者数の関係が見られた．このため，区画整理された移動機能が高い道路では，休日に移動の合間に滞留できる空間の利用が見られたと考える．一方で，施設の多い C2 と C3 は，バス停距離，駅距離との関係 が平日で大きく，活動の場となる道路では平日において公共交通を利用した移動が多いと考えられる．また，決定係数が最も大きい C3 では，他の道路分類の空間要素と比べて緑や空と歩行者数の関係が大きい．これは，デパートや商業ビルが立ち並ぶ道路の中で，視界が開けた街路樹等の整備が進む大通りで歩行者数との関係が見られたと考える．移動と場の機能が高く人通りの多い商業中心地の大通りでは，回遊行動を促進するために，快適な空間の整備が進めら

表-1　空間と歩行者数の重回帰分析（平日）

		C1		C2		C3		C4		C5	
		接続低＋施設少		余暇多		接続高＋小売多		近接高		次数高	
		β	t値	β	t値	β	t値	β	t値	β	t値
立地特性	バス停距離			-0.28**	-21.48	-0.15**	-3.96	-0.18**	-9.15	-0.11**	-9.37
	駅距離	-0.12**	-7.49	-0.32**	-26.40	-0.26**	-7.71	-0.34**	-17.36	-0.19**	-15.58
	複合施設距離	-0.19**	-13.5							-0.31**	-25.13
	次数中心性	0.29**	19.48	0.39**	28.71	0.15**	4.18	0.27**	12.89	0.28**	23.99
	近接中心性	-0.02	-1.74	0.13**	10.17			0.11**	5.90		
	小売施設	-0.05**	-3.59	0.23**	17.08	0.07*	2.12				
	余暇施設	0.1**	6.9	0.05**	3.60						
空間要素	緑	0.14**	9.86	0.06**	4.50	0.38**	11.01	0.03	1.67	0.11**	9.30
	空			-0.03*	-2.20	0.26**	7.45	-0.07**	-3.39	0.06**	5.01
	車道	0.22**	13.9	0.02	1.69	0.07*	2.06	0.09**	3.98	0.07**	5.48
	フェンス	-0.03*	-2.11	-0.03**	-2.68						
	信号機			0.02	1.90			0.15**	8.26		
	標識	-0.04**	-2.67	-0.06**	-5.00	-0.08*	-2.54	-0.05**	-3.02	-0.08**	-6.91
	ベンチ	0.07**	5.17							-0.04**	-3.89
	椅子			-0.02	-1.95						
	植栽	-0.05**	-3.65	-0.06**	-4.67	0.16**	5.09			-0.07**	-5.60
ダミー変数	11:00-15:00	-0.03	-1.76	0.04**	3.12	0.09*	2.55	-0.05**	-2.62	-0.02	-1.67
	15:00-19:00	0.06**	4.09	0.14**	10.47	0.28**	8.37	0.05*	2.43	0.16**	12.41
R^2		0.29		0.51		0.64		0.44		0.38	
サンプル数		3,863		3,775		438		1,845		4,840	

β：標準偏回帰係数，*p<0.05, **p<0.01

表-2　空間と歩行者数の重回帰分析（休日）

		C1		C2		C3		C4		C5	
		接続低＋施設少		余暇多		接続高＋小売多		近接高		次数高	
		β	t値	β	t値	β	t値	β	t値	β	t値
立地特性	バス停距離	-0.02	-1.48	-0.2**	-14.97	-0.09**	-2.90	-0.21**	-10.29	-0.14**	-12.41
	駅距離	-0.05**	-3.11	-0.26**	-20.02	-0.3**	-8.69	-0.18**	-7.76	-0.14**	-11.73
	複合施設距離	-0.2**	-13	-0.12**	-8.89			-0.19**	-6.85	-0.35**	-29.19
	次数中心性	0.24**	15.15	0.36**	25.93	0.12**	3.65	0.25**	11.48	0.22**	19.33
	近接中心性			0.07**	4.97			0.1**	4.60		
	小売施設	-0.04**	-2.71	0.23**	15.36						
	余暇施設	0.13**	8.38			0.07*	2.27	-0.1**	-4.48		
空間要素	緑	0.07**	4.48	0.09**	6.87	0.32**	9.84	0.1**	3.95	0.14**	11.67
	空					0.28**	8.15	0.05	1.95	0.04**	3.31
	車道	0.22**	13.09					0.08**	3.54	0.05**	3.48
	フェンス	-0.04*	-2.57	-0.05**	-4.26					0.02	1.42
	信号機			0.03**	2.73			0.13**	6.60		
	標識	-0.03	-1.91	-0.06**	-4.70	-0.07*	-2.26	-0.06**	-3.01	-0.07**	-5.99
	ベンチ	0.06**	3.89	-0.03*	-2.22			0.04*	2.13		
	椅子										
	植栽	-0.05**	-3.12	-0.05**	-3.65	0.16**	5.21			-0.04**	-3.75
ダミー変数	11:00-15:00	0.11**	6.68	0.25**	17.62	0.33**	10.17	0.24**	11.36	0.26**	20.02
	15:00-19:00	0.2**	11.81	0.33**	22.82	0.46**	14.37	0.26**	12.29	0.35**	27.60
R^2		0.25		0.46		0.67		0.42		0.42	
サンプル数		3,571		3,696		438		1,747		4,739	

β：標準偏回帰係数，*p<0.05, **p<0.01

れていることを示している．次数中心性が高い C5 では，複合施設距離，次数中心性との関係が大きく，移動機能の高い幹線道路では目的地への移動が見られた．

以上の分析結果より，移動と活動の場となる商業中心地の道路では，緑や空といった空間要素と歩行者数の関係が見られた．一方で，施設の多い活動の場となる道路の C2 や C3 では，公共交通と歩行者数の関係が見られ，移動の機能が高い道路の C4 では，滞留できるベンチと歩行者数の関係が見られた．これらは，立地特性の持つ道路の機能性と整備されている空間要素での整合性は，歩行者数と関係が薄いことを示している．

6.　結論

本研究では，都心部の道路の立地特性に基づく道路の

分類と空間要素，歩行者数の関係を定量的に分析した．まず，名古屋市中区の全道路を対象に道路接続性と施設密度を計測し，階層クラスター分析を行い，立地特性に基づいて道路を分類した．この結果，住宅街に分布する接続性が低く施設が少ない C1，商業地に分布する余暇施設が多い C2，商業中心地に分布する接続性が高く小売施設が多い C3，区画整理されたビジネス街に分布する近接中心性が高い C4，幹線道路に分布する次数中心性が高い C5 に分類することができた．そして，立地特性と空間分布より移動と場の機能性と道路の分類の関係を見た．この結果，C4，C5 は移動機能の高さ，C2 は場の機能の高さ，C3 は移動と場の両方の機能が高さと関係づけることができた．

次に，道路の分類毎に空間要素を計測し，立地特性に基づく空間要素数を比較した結果，施設が多く場の機能性が高い C2 と C3 ではビルの割合が高く，建物の多さによって空間が特徴づけられた．また，接続性が高く移動の機能性が高い C3，C4，C5 では車道や緑の割合が高く，車道の広さによって空間が特徴づけられた．

最後に，立地特性と空間要素，歩行者数の関係を重回帰分析によって分析した．分析の結果，移動と場の機能が高い商業中心地の道路では緑や空の割合と歩行者数の関係が見られた．また，場の機能性が高い施設の多い道路では公共交通と歩行者数の関係が見られ，移動機能の高い道路ではベンチと歩行者数の関係が見られた．

以上より，現状の道路空間は立地特性によって活動目的に関連する機能性として分類できることが分かった．しかし，立地特性と空間要素の関係は薄く整合的といえず，関係は限られた要素しか見られなかった．これより，現状の歩行空間整備において，立地特性に応じた空間要素が有効的に整備されているとは言えないことが分かった．

参考文献

1) 国土交通省：歩行者利便増進道路（ほこみち）制度の詳細説明,2020
2) Jones, P.・Boujenko, N.・Marshall, S.：Link and Place：*A Guide to Street Planning and Design*, *London Press*, 2007
3) Robert Cervero・Kara Kockelman：*Travel demand and the 3Ds: Density, Diversity, and Design, Transportation Research part D*, Vol2, No3, pp199-219, 1997
4) Frank, L D.・Schmid, T L.・Sallis, J F.・James Chapman・Saelens, B E.：*Linking Objectively Measured Physical Activity with Objectively Measured urban Form findings from SMATRAQ, American Journal of Prevetive Medicine*, No.28, pp.117-125, 2005
5) 金井俊祐・山田真美・木村優介：Walkability Index を用いた歩行空間整備前後の歩行活動量の分析枠組みに関する研究-滋賀県草津川跡地公園による道路ネットワークの変化に着目して-, 都市計画論文集, Vol.54, No.3, pp.1184-1191, 2019
6) Hiller, B. and Hanson, j.: *Social logic of Space, Cambridge University Press*,1984
7) 伊藤佑亮・高山宇宙・森本章倫：Walkability の概念整理と日本での適用に向けた課題に関する研究-歩行行動の欲求段階モデルを用いた高田馬場駅周辺街路のおけるケーススタディ-, 都市計画論文集, Vol.56, No.3, pp.1372-1377, 2021
8) 大平悠季・桑野将司・中川貴裕：空間構造に着目した中心市街地の賑わい形成要因の分析, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.75, No.5, pp.I_387-I_397, 2019
9) 西村純平・井上莞志・田中貴宏・松尾薫・横山真：地方中枢都市都心部における街路の特性と行動者量の関連に関する研究-広島市を対象とした調査と分析-, 都市計画論文集, Vol.56, No.3, pp.485-492, 2021
10) 一ノ瀬 良奈・丸山 喜久・永田 茂：スマートフォンの位置情報による流動人口の時空間分布の推定, 土木学会論文集 A1，Vol.74，No.4，I_210-I_219，2018

The Relationship between Spatial Element and Pedestrian Volume based on Location Characteristics of Road

Koki TAKAYAMA, Kazuki NAKAMURA, Haruto TAKAGI