

動画像からの歩行速度と注目領域の建物ファサード要素の分布量推定

建物ファサード要素が歩行速度の増減に及ぼす影響分析を交えて

Estimation of Pedestrians' Walking Speed and the Distribution of Architectural Façade Elements in Their Focus Field by Video Image Analysis Analysis of Façades' Effect on Change in the Walking Speed

○関口 達也*¹, 塚越 俊介*², 沈 振江*³

Tatsuya Sekiguchi*¹, Shunsuke Tsukagoshi*² and Zhenjiang Shen*³

*1 金沢大学 地球社会基盤学系 助教 工博

Assistant Professor, Faculty of Geosciences and civil Engineering, Kanazawa University, Dr. Eng.

*2 株式会社 日本海コンサルタント 社員 修士(工学)

Staff, Nihonkai Consultant Co.,LTD., M. Eng.

*3 金沢大学 地球社会基盤学系 教授 工博

Professor, Faculty of Geosciences and civil Engineering, Kanazawa University, Dr. Eng.

Summary: This study aims to contribute the development of commercial districts that people can walk with desirable speed. To achieve this goal, by using video images analyses, we proposed a methodology to estimate pedestrians' walking speed and the distribution ratio of architectural facades. Furthermore, we analyzed which façade elements affect the walking speed.

By using a computer vision annotation tool, we first conducted the identification of each pedestrian and their location in a coordinate system on the video. Then, we conducted a homography transformation to project their location on a horizontal plane coordinate system. From the change of location on a horizontal plane, we estimated their walking speed. Moreover, we also estimated the composition ratio of façade elements in each pedestrian's focus field according to the location at each time.

The results of regression analysis show that the more the ratio of "walls that have no information for pedestrians"/"Glazed walls that enable pedestrians to give information of inside of the tenant" become, the faster/slower the walking speed tend to become.

キーワード: 動画像解析; 歩行速度; 建物ファサード; 商業空間; 多変量解析

Keywords: Video image analysis; walking speed; architectural facades; commercial area; multivariate analysis.

1. はじめに

1.1. 研究の背景と目的

快適な歩行空間の創出のためには、安全性のみならず、歩行空間の景観性、さらには歩行者の自由な速度で歩行可能性への配慮も求められる¹⁾。この自由な速度での歩行の可否は様々な要因に影響を受ける。歩行空間の交通量・交通流はその代表的な例であるが、特に多様な建築景観が見られる商業エリアでは、建物ファサード等の沿道要素も歩行速度に影響を与えうる。例えば店舗情報の確認のための注視やウィンドウショッピングは、歩行の一時的な停止や速度減少に繋がる。この歩行速度の変化は、歩行空間全体の交通流・量の変化にも影響するため、いかなるファサード要素が商業エリアでの個々人の歩行速度に影響を及ぼすのかを把握する事は、自由な速度での歩行が可能な快適な歩行空間の創出に貢献できる。

本稿では、街路における歩行者の往来を撮影した動画と街路沿道の各建物の正面写真という、従来よりも簡便

に収集可能なデータから歩行者の歩行速度の推定、さらに刻一刻と変化する歩行者の注目範囲に対応した建物ファサード要素の分布量を把握する方法を提案する。さらに、建物ファサード要素と歩行速度の関係を分析する。

1.2. 既存研究と本研究の位置づけ

これまでも動画内の大量の情報から歩行者を抽出し、速度の推定やその変動要因を分析した研究は存在する。

画像解析学分野では歩行者を抽出・同定し移動の遷移を捕捉する研究が多い。例えば近藤ら(2002)²⁾や柳沼ら(2011)³⁾, Hoogendoorn et al.(2003)⁴⁾等は時系列データである動画情報に状態空間モデルを適用し、都市空間内の歩行者位置とその変化を自動的に把握する方法を提案した。

また、任意の歩行者の交通流・交通量と歩行行動の関係性を分析した研究も多い。五十嵐ら(2018)⁵⁾では、動画情報から群衆内の歩行者位置と実空間における移動速度を推定し、他者の歩行流に起因する、方向転換や速度低

下の発生回数を計測した。O'Haherty&Parkinson(1972)⁶⁾や Hankin&Wright(1958)⁷⁾は、歩行者の量・密度の実測値と歩行速度との関係を定量的に分析した。柳沼ら(2011)³⁾や毛利(1977)⁸⁾、藤田ら(2015)⁹⁾は、歩行者分布を考慮した方向転換や追越し等の歩行挙動予測モデルを提案した。

ただし、以上はいずれも動画内の歩行者相互の影響分析が中心である。一部で歩道幅員^{7),8)}が考慮されたが、沿道要素の状況を考慮した分析枠組みは提示されていない。

一方で、歩行者空間の沿道要素と人々の歩行特性の關係に着目した研究もあり、高橋ら(2005)¹⁰⁾は、歩行者の追跡調査から、沿道の店舗数密度と、歩行速度の關係を示した。また、渡辺ら(2001)¹¹⁾や益岡ら(1997)¹²⁾は機器により被験者の視線や脳波を測定し、歩行中の沿道要素・景観の注視特性を把握して、歩行速度との關係を分析した。観察調査や被験者実験は、沿道要素の影響を高精度で把握できるが、データ収集の手間や費用が掛かり、大量の被験者を対象にはできない。また、機器等を付帯した測定環境での歩行は自然なものとは言い難い場合がある。

以上の既存研究と比べた本稿の特徴は以下である。

1)被験者実験を必要とせず、動画と沿道建物ファサードの正面写真という簡便に収集可能なデータから解析可能
2)各時点の歩行者の移動・注目範囲の推定に基づき、対応する沿道空間の都市的景観要素の分布を正面写真から判別し、歩行速度への影響までも実際に分析した

以下、2章で対象地域と利用データについて述べる。3章では動画像解析による歩行速度の推定¹⁾、4章では各時点の歩行者の注目範囲に対応した沿道の建物ファサード要素分布量の計測の方法¹⁾を述べる。5章でファサード要素と歩行速度の關係性を分析¹⁾し、6章で本稿を結ぶ。

2. 対象地域・データ収集の方法

石川県金沢市長町のせせらぎ通りにおいて、三脚にビデオカメラを固定し、図1の画角から動画を撮影した。当該街路は、低層・小規模な店舗が立ち並ぶ商業地域内にある。建物ごとの間口も比較的狭く、短い距離でも複数の建物の外観がみられる。また、沿道の片側(図1の建物1~5の向かい側)の建物は用水路を挟み立地する²⁾。他の歩行者や自動車流、探索しながら歩行しがちな観光客等のファサード要素以外の歩行速度への影響要因が少なく、両者の關係を分析しやすい事も理由である³⁾。

撮影動画(撮影日:2018年12月24日⁴⁾13~14時)から、人通り、自動車の通行が歩行へ影響を与えていないと考えられる約5分間の映像を本稿の一連の分析に使用し、動画中に映り込んだ歩行者21人を対象とした。図1に示す5つの建物ファサード(間口総延長24.4m)の歩行速度への影響を見るため、各建物の正面からの写真をファサード要素の各建物の1階部分⁵⁾が十分に映るよう撮影した。身長約180cmの撮影者の視線の高さに揃え、

対面の歩道上で各建物が正面に来る位置から撮影した。



Figure 1. Target street and the angle of video recording

3. 動画情報からの歩行者速度の推定

オープンソースのコンピュータビジョン向けライブラリ OpenCV(インテル社)で提供される CVAT(Computer Vision Annotation Tool)を用いて、以下の手順で行う。

- 1)各時点で歩行者の映る領域を抽出(アノテーション)
- 2)領域の底辺の midpoint を動画中の歩行者位置として取得
- 3)動画内の座標系(動画座標系)をホモグラフィ変換し、実空間の座標系(水平面座標系)での歩行者位置を推定
- 4)一定の時間(フレーム)間隔における歩行者の水平面座標での移動距離から速度を計算

3.1. 動画中の歩行者のアノテーション

前処理として動画の fps を 20.0 に変更した後、動画中で各歩行者が映る領域を手動でバウンディングボックス(B・B)により囲み、アノテーションを行った(図2)。CVATでは任意の2時点をキーフレーム(KF)に設定する事で、2時点間を補間してアノテーションを行え、作業コストを大幅に軽減できる。ただし、KFの設定時点によらず、KF直後から歩行速度が上昇し、次のKF直前で歩行速度が極大になり、その直後に歩行速度が極小に下がるという、この補間に起因すると考えられる挙動が各歩行者に対して確認された。このKF間での速度変化が推定結果に与える影響を緩和するため、歩行サイクル内の速度増減と合わせる事を考えた。図3より、歩行行動では片方の踵の接地直後に運動エネルギー、速度共に理論上最大になる¹³⁾。そこで、いずれかの足の踵が接地した直後を目視で判別しKFに設定し、CVATのアノテーション補間の仕様により速度が最大になる時点と、歩行サイクル中で速度が理論上最大になる時点を合わせた。

3.2. 動画座標での歩行者位置推定と水平面座標への変換

動画のアノテーションにより、動画座標系 $D(u, v)$ のもとで(座標原点は図1の左上頂点部)、任意のフレーム t のある歩行者 i を囲む $B \cdot B$ の4頂点のうち、図2に示した対角の2点の座標 F_{1it} と F_{2it} が取得できる。本稿では

各フレームの $B \cdot B$ の底面の中心点 G_{it} を時点 t の歩行者位置とした⁶⁾。ただし、実際に等速で移動しても動画座標系のままでは画面手前ほど速度が大きく、画面奥ほど小さく算出される。そこで、まず動画座標での歩行者位置をホモグラフィ変換により実空間の水平面座標に変換した。

ある動画座標系の点 $\mathbf{p} = [u, v, w]^t$ は、式(1)に示す行列 H を用いて水平面座標系の点 $\mathbf{P} = [x, y, z]^t$ に変換できる(ただし、今回は $w = z = 1$)。

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

各座標系で対応する4点の位置(どの3点の組も同一直線上に存在しない)を与えて行列 H の各成分値の値を決定し、歩行者位置を動画座標系から水平面座標系に変換する。図1の建物1の左端部から伸ばした1)店舗側の歩道上の点と2)その向かいの歩道上の点、建物5の右端部から伸ばした3)店舗側の歩道上の点と4)その向かいの歩道上の点を頂点とした。この4点に対応する x, y 方向の距離を実測して座標値を取得し、 $1\text{cm}=1\text{px}$ となる様にした。変換後の水平面座標系での4点の座標を図4に示す。

3.3. 水平面座標系での歩行速度の推定

水平面座標へ変換した各歩行者の位置の平面上の移動距離から、1フレーム(F)毎の移動速度を推定した。図5はある歩行者の結果であり、歩行速度が比較的大きいデータ群と小さいデータ群が概ね交互に現れるノイズが見られた。このノイズは、KF時の歩行者のアノテーションを目視・手動で行ったため、歩行者座標 G_{it} を水平面座標上で見たものと実際の歩行者位置(例: 頭部)との位置関係が図2の様に左右の足の交差の有無によりやや異なる状況が交互に起こる事に起因したと考えられる。

ただし本稿の分析目的から、1F毎の歩行速度の微細な変動よりも、歩行1サイクル単位程度のより巨視的な単位での歩行速度の変化の把握が重要と考え、ノイズを平滑化して低減する。平滑化は1)速度推定を行うフレーム間隔の拡大と、2)そのフレーム間隔で求めた歩行速度の移動平均をとる事で行う。図3を参考に、1)については概ね1歩毎に相当する10F(約0.5秒)間隔で歩行速度を算出し⁷⁾、2)では概ね前後の歩行1サイクル(各約1秒、20F)ずつの状態を考慮するため、40Fを移動平均の算出区間とした。以降では、この10F毎に集計した歩行速度の移動平均値を、各時点の各歩行者の歩行速度とする。

4. 建物のファサード要素の定量化

4.1. ファサード画像の整形

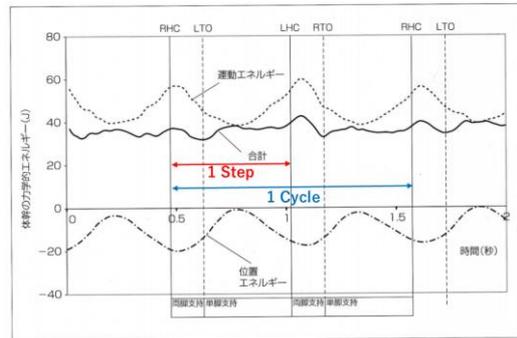
本稿では、各建物のファサード部分を連結させ、歩行者の位置に応じた注目範囲(探索窓)を設定し、その探索窓内の各要素のピクセル数の割合を指標とする。各建物は間口の広さが各々異なり、道路幅員の細かい変化も

あるため、正面写真の撮影時に距離は厳密に一定ではない⁸⁾一方で、写真の画像サイズ全て同じである。そこで、画像間の1px当たりが示す実際の長さを統一する必要がある。この画像の縮尺調整と各建物のファサードの1階部分のみの範囲の抽出のため、各画像の整形を行った。

地面と水平方向では現地で実測した各建物の間口⁹⁾の距離を踏まえ $1\text{cm}=1\text{px}$ として、垂直方向では、全ての建物に共通して建物の1階の外観部分において本稿で分析



Figure 2. Annotation of a pedestrian and assigned coordinates



RHC: Right heel grounding, LHC: Left heel grounding

(Quoted from Ehara&Yamamoto(2002)¹³⁾, partly added by authors)

Figure 3. Changes of mechanical energy during walking



Figure 4. Projection to the horizontal plane coordinates

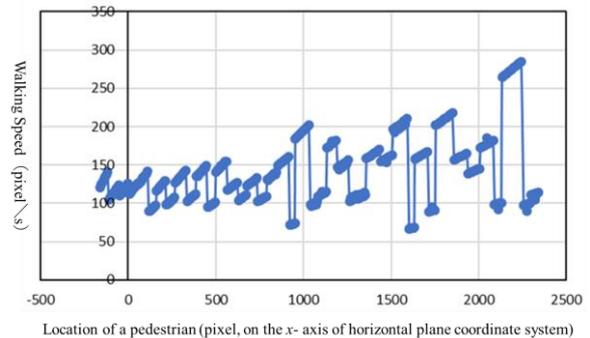


Figure 5. An example of estimated walking speed

対象とする各ファサード要素の分布が見られた高さ h (図1の赤枠の高さ、この高さには画像がトリミングされる)が2.5mとなる様にホモグラフィ変換を施し、5枚の変換後の写真を繋ぎ合わせた場合にも、各写真の単位ピクセル当たりが表す長さの比率が現実と等しくなる様にした。各建物の画像の変換に必要な4点は、各建物の間口両端の2点と、そこから垂直に h だけ立ち上げた2点とした。変換前の原点は正面写真の左上頂点で、変換後の原点は1階ファサード部分の画角の左上頂点となる。

4.2. ファサード要素の選定と該当箇所の抽出

本稿では建物ファサードを、歩行者に何らかの情報を与える「情報要素」と建物の外観に関する「外観要素」に大別した。さらに、情報要素は1)情報(非店内)要素、2)情報要素(店内)と3)それ以外の壁面に、外観要素は4)屋外の床、5)開口部、6)ファニチャー、7)その他の設置物に分けた。そして各画像において、各要素の該当部分を白く塗りつぶし、それ以外の部分の明度を0として二値化し、OpenCVライブラリのcountNonZero関数を用いて、白塗り部分のピクセル数を計測した。立面写真と対応させた各要素の分類と説明、該当箇所の塗り分け結果⁽¹⁰⁾を図6、対象範囲の各要素の分布割合を表1に示す。

4.3. 歩行者位置に対応した注目範囲内の各要素の割合

各ファサード要素の分布割合は建物毎に集計すると5通りしか得られず、動的に変化する歩行者の位置・歩行速度との関係を見るには適さない。そこで各歩行者の歩行中の注目範囲を設定し、その範囲内にある正面写真内の各ファサード要素の分布割合と歩行速度の関係をみた。図7の様に、ある時点のある位置の歩行者は、直線とみなせる対象街路と平行に進行⁽¹¹⁾し、進行方向より左右に90度を超えて後ろを振り向く事はしないものとする。そして進行しながらファサードを注目できる範囲の端点を、片方は歩行者位置から街路に垂直におろした位置(x_1)とし、もう片方の端点は、現在の進行方向から自然に首を動かせる角度(30度)⁽¹¹⁾でファサード面を見たとき、有効視野(20度)⁽¹¹⁾の進行方向側の端がファサード面と交わる場所(x_2)とした。この $x_1 \sim x_2$ の間を、歩行中に各地点で注目可能なファサードの範囲とした(図7の赤線部)。撮影動画から算出した、分析対象の全歩行者のファサード面からの距離の水平面座標上での平均値 \bar{y} は83.8 cm⁽¹²⁾、 $x_1 \sim x_2$ 間の距離は約2.3mと算出された。そこで、ある位置から歩行者が注目する範囲は、水平面座標上で2.3m先とし、その範囲内の各ファサード割合を集計する。

4.1.節で処理した5枚の建物のファサード画像を連結し、高さ $h=250$ px、幅230 pxの探索窓を $0 \leq x_1 \leq 2209$ の範囲で1 pxずつ移動させ(図8)、各地点の探索窓内の各ファサード要素のピクセル割合を計算した。



Figure 6. The distribution and explanation of each element ⁽¹³⁾

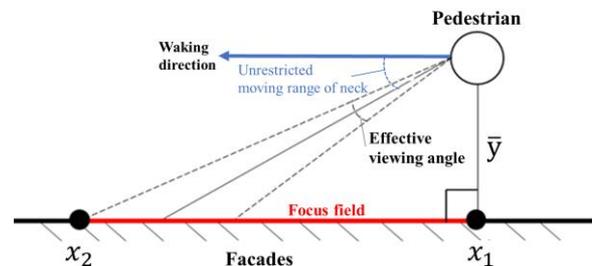


Figure 7. Estimation of focusing range

Table1. The ratio of each façade (%)

Info.(Out)	Info.(In)	Walls	Floors	Apertures	Furniture	Others
7.6	12.3	61.9	5.7	17.2	4.8	6.3

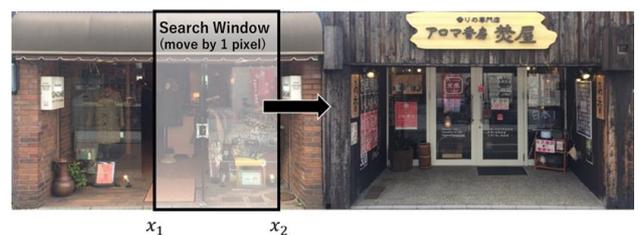


Figure 8. The search window for estimating the composition ratio of each façade elements

5. 歩行速度と建物のファサード要素の関係性の分析

図9に、水平面座標の位置 x に対応した、各歩行者の歩行速度の推定値と各ファサード要素の割合の変化を示した。店舗単位よりも細かい速度増減が見られた事と、分析区間で断片的に映る歩行者もいる事から、歩行速度とファサード要素の関係を多変量解析により分析する⁽¹⁴⁾。

5.1. 歩行速度と個人差の影響の有無

歩行速度は各個人の性別や身長等により異なる可能性

があり、その影響を除外すべく、各歩行者について各地点での歩行速度と分析区間内での平均歩行速度との差を取った、速度の偏差（以下、偏差）を用いて分析をする。

なお、歩行者毎に複数時点のデータが存在し、この偏差にも個人毎に一定の傾向が見られる可能性がある。そこで、この偏差の級内相関係数を算出すると、 $r=-0.040$ ($p=1.000$)と個人からの影響はみられなかった。そのため以降では各個人の速度の偏差は独立データとして扱う。

5.2. 速度の偏差に影響するファサード要素の分析

まず、分析対象の21人について計512時点の速度の偏差と各ファサードの割合の相関係数を算出した（表2）。情報（非店内）と情報（店内）、屋外の床については、各要素の注目範囲（探索窓）内に占める割合が多い事と歩行速度が遅くなる事の間に関連が見られた。一方で、それ以外の壁面、その他の設置物では逆に、速度との間に正の相関係数が見られた。開口部、ファニチャーの各要素については、相関係数値も小さく、速度との間に有意な相関係数は確認されなかった。

ただし、任意時点の速度は各ファサードから複合的に影響を受けると考え、各地点での速度の偏差を被説明変数、各ファサード要素の割合を説明変数とする重回帰分析を行った（変数選択：有意水準5%、ステップワイズ法）。

多重共線性の発生を避けるため、偏差との単相関係数が有意でない開口部とファニチャーは説明変数から除外した。また採択された変数の分散拡大係数(VIF)が5未満

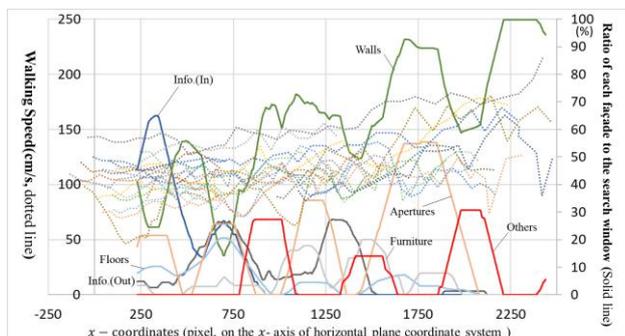


Figure 9. Change of walking speed and the ratio of façades

Table 2. The results of the correlation analysis

Info.(Out)	Info.(In)	Walls	Floors
-0.197**	-0.341**	0.390**	-0.289**
Aperture	Furniture	Others	Significance level
0.007	-0.004	0.118**	** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$

Table 3. The result of the multiple regression analysis

	B	S.E.	β	t	p	VIF
Intercept	-11.545	2.996		-3.854	0.000	
Walls	0.222	0.043	0.297	5.162	0.000	2.009
Info.(In)	-0.112	0.049	-0.131	-2.268	0.024	2.009

である事も確認した。表3に最終的な結果を示す。

自由度調整済み R^2 は0.157と大きくないが、モデルは有効であった（F値：48.6、1%有意）。採択された説明変数の符号に着目して解釈すると、歩行速度の偏差と、注目範囲内の歩行者に情報を与えない壁面の面積の多さの間には正の、店内情報が見える部分の面積の多さの間には負の連関が見られた。他の要素の影響を統制しても相関分析の結果とも一致する相関関係が見られた。モデルより、WallsとInfo.(In)の値が10%増えると、歩行速度の偏差はそれぞれ約1.3m/分増加、約0.7m/分減少する。

6. 本稿のまとめ

本稿では、自由な速度での歩行できる快適な歩行空間の創出に向けて、固定位置からの歩行者空間の撮影動画と動画内の建物の正面写真という従来よりも簡便に収集可能なデータから歩行者の歩行速度を推定し、注目位置に対応する建物ファサードの構成要素の分布を把握する方法を提案した。動画内の歩行者位置や、歩行者の見る沿道のファサード要素の情報を水平面座標上の位置により紐づけ、両者の関係を共通の枠組みで分析した。そして、歩行速度の増加に対して、注目範囲内における歩行者に情報を与えない壁面の多さと正の連関が、逆に店内の情報が見える部分の多さと負の連関がある事を示した。

これらを都市計画的観点から歩行者空間の整備へ活かす場合、例えば、商業エリアを対象とした地区計画立案の際に、地区整備方針の一部に各ファサード要素の分布に関する内容を組み込む事が考えられる。歩行者流動を促進したい場合、情報を与えない壁面部分の面積を一定以上確保したり、逆に店内情報が見える部分が連続しない様に方針を定める事が挙げられる。逆に歩行者の滞留を促してエリアの賑わいを創出したい場合には、特に店内が見えて歩行者の目を引く事で歩行速度を遅くする可能性のある店内情報が見える部分を多めに設ける、建物毎にそれらを連続させる、ショーウィンドウ等を積極的に設ける、といった整備方針が有効と言える。

ただし、本稿には複数の課題が残されている。まず、地区の歩行者の量や流れが歩行速度に及ぼす影響を考慮する事である。本稿では他の歩行者の影響は分析に組み込んでいないが、地区によっては歩行者や他の交通手段の流れの影響を考慮するための手法拡張も必要だろう。さらに、分析結果の精度を上げるための手法の改良も課題である。例えば、B・Bの設定やアノテーション方法の変更による歩行者位置の推定精度の向上、動画撮影の角度・方向が推定速度に与える誤差の軽減、推定された速度分布のノイズ低減や、歩行者の注目範囲の設定や歩行速度とファサード要素の関係性の分析方法の精緻化などが挙げられる⁽¹⁵⁾。特に、微視的な集計単位での歩行速度の推定は、より詳細なスケールでの速度推定を可能にし、

刻一刻と動的に変化する景観要素の影響も考慮できる。
また、多変量解析において、ファサード要素以外の影響も考慮する事で推定結果を精緻化できる。

また、適切な商業エリアのファサード計画の面から考えれば、歩行速度以外にも、人々の認知・評価等を踏まえた総合的な観点から望ましい景観の在り方について整理・検討の必要がある。以上を今後の課題とする。

【謝辞】

本稿は科研費 No.17K14785,19K04750,20K14901 の助成を受けた。

【注釈】

- (1) 3・4 章部分の動画画像解析は Python3.7.4 環境下で行い、5 章の多変量解析には IBM SPSS Statistics 25 を用いた。
- (2) 実際に商業エリアの立地の多い広幅員道路では沿道片側にしか建物ファサードがない事も多く、無理のない仮定といえる。
- (3) 本稿では単純に歩行速度とファサード要素の関係を見るため、速度への他の影響要因が少ない場所を選んだ。この地域で自由な歩行が妨げられているわけではない事に注意を要する。
- (4) 通常の休日と比べて、調査日特有の歩行者行動は見られなかった。路面も乾いており、傘を持つ人もおらず天候面の影響もないと判断した。
- (5) 既存研究^{14),15)}などにおいて、建物ファサードの1階部分は歩行者の視野に入りやすく、その分析や人々の評価を行う研究で良く対象とされる事から、本稿でも1階部分のみに着目する。
- (6) 歩行者位置を水平面座標に投影するのに、動画平面でも道路上の点を歩行者の代表点とする必要があったため。
- (7) 歩行1サイクルのフレーム間隔は、全歩行者の平均で83.6%が $10 \pm 3F$ に収まっており、 $10F$ に固定する事は妥当と考えた。
- (8) 各建物から撮影位置までの厳密な距離は異なるが、全ての撮影はファサード面のある歩道の向かい側の歩道上から行えており、分析結果に影響が出る程の撮影距離の差はないと考えた。
- (9) 各建物の間口は、現地での計測結果より建物1:3.92m, 建物2:3.90m, 建物3:5.93m, 建物4:5.03m, 建物5:5.61m。
- (10) 情報要素と外観要素は分節が一部重複し合計が1を超える。
- (11) 実際の移動速度は x, y 平面内での移動距離から算出したが、この注目範囲の推定では x 軸に沿って進行すると仮定した。なお、自然に首を動かせる角度は健康者の頸椎の可動域(約 60°)¹⁶⁾の半分とし、有効視野角は Seya & Watanabe(2013)¹⁷⁾に従った。
- (12) \bar{y} の値を全体で固定した理由は以下である。ファサード面からの距離により、ファサード要素への注目度合いも変化すると考えられる。ただし、沿道からの距離の違いが、このファサードの注目度合いと、視界に入るファサード範囲のどちらに大きい影響を及ぼすかの判断は、今回の動画映像のみでは困難であった。その中で、提案手法の特徴である簡便性の担保のため、まずは、各自がファサード面から同じ距離を歩くと仮定して、距離によるファサード面への着目度合いを揃えることとした。
- (13) 今回は、道路からの距離や開放状態を踏まえ開け閉めや人の出入りの警戒・回避が必要なドアはないとみなせ、警戒・回避行動を実際にした歩行者もなく、結果に影響はないと考えた。外観要素として建物の内外を繋ぐ建築的な役割の共通性をより重視し、ドアと窓を同一分類とした。形式は建物1:押し戸(常時開放)、建物2:押し戸、建物3:引き戸、建物4:引き戸である。
- (14) 本稿では歩行1サイクル程度の単位での速度変化とファサード要素の関係性を中心に分析する。その支障となりうる様な、動画平面からのホモグラフィ変換に由来する可能性のある、各歩行者に共通の速度変化の傾向は図9からも見られなかった。
- (15) 各課題の対応方針の例を以下に示す。歩行者位置の推定: 歩行の時の向きや出足の左右に合わせて $B \cdot B$ を平行四辺形に設定し、歩行者の位置を算出する。各歩行者の頭を歩行者位置として平面上に投影する。推定された速度分布の誤差やノイズ

の低減: 動画撮影を逆方向や違う場所から行い速度分布の推定誤差に与える影響を解析したうえで、動画の画角・方向に応じて速度の推定値に補正をかける、平滑化を行う際のフレーム数を歩行1サイクルに合わせ可変とする。歩行者の注目範囲に応じたファサード要素割合の算定、歩行速度とファサード要素の関係性の分析の精緻化: 各歩行者の移動軌跡を踏まえて \bar{y} の値を可変とする、アイマークレコーダーなどを用いた被験者実験に基づき、ファサード面からの距離に応じた歩行者の注目範囲の計測を行う。多くの地域で店舗単位での速度・要素集計による分析を行う、同じ場所でも時間帯やカメラ位置等の条件を変更して多様なデータを取得して分析を行う。

【参考文献】

- 1) 国土技術政策研究所: 道路空間の安全性・快適性の向上に関する研究(URL: <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoku/kpr/prm0007/pdf/kp0007006.pdf>, 2020.6.22 閲覧), 2006.2
- 2) 近藤克也, 前田和範, 小西康夫, 石垣博行: 混成領域閑僚複素カルマンフィルタによる移動物体の速度推定と抽出, 電子情報通信学会論文誌, **J85-A(10)**, pp.1070-1078, 2002.10
- 3) 柳沼秀樹, 福田大輔, 山田薫, 松山宜弘: 離散選択型歩行者挙動モデル推定のための歩行者座標の自動抽出に関する基礎的研究, 土木学会論文集 D3, **67(5)**, I_787-I_800, 2011.12
- 4) Hoogendoorn, S.P., Daamen, W., Bovy, P.H.L.: Extracting Microscopic Pedestrian Characteristics from Video Data, *Proceedings of Transportation Research Board 82nd Annual Meeting*, Accession Number: 00941688, 2003.1
- 5) 五十嵐有紀, 勢古口遥, 長澤夏子: 画像解析を用いた流動中の歩行属性別の歩行状態と群集密度の関連—ベビーカー・車椅子・キャリアバッグ利用者, 低速歩行者の比較から, 人間・環境学会誌, **21(1)**, p.14, 2018.9
- 6) O'flaherty C.A., Parkinson M.H.: Movement on a city centre footways, *Traffic engineering and control*, **13(10)**, pp. 434-438, 1972.
- 7) Hankin, B.D., Wright, R.A.: Passenger flow in subways, *Operational research quarterly*, **9(2)**, pp.81-88, 1958.
- 8) 毛利正光, 塚口博司: 歩行路における歩行者挙動に関する研究, 土木学会論文報告集, **268**, pp.99-108, 1977.12
- 9) 藤田悟, 森田晴香: 街角の群衆の歩行者位置推定, 情報処理学会論文誌, **56(1)**, pp.369-377, 2015.1
- 10) 高橋弘明, 後藤春彦, 佐久間康富, 齋藤亮, 石井雄晋: 商業集積地における来訪者の回遊行動と店舗数密度の関係についての研究-下北沢駅周辺地域を事例として-, 都市計画論文集, **40**, pp.649-654, 2005.10
- 11) 渡辺聡, 後藤春彦, 三宅論, 中村隆: 商業地街路における歩行注視特性に関する研究 - 品川区戸越銀座商店街のビデオ映像を用いた分析-, 都市計画論文集, **36**, pp.769-774, 2001.10
- 12) 益岡了, 材野博司: シークェンス景観における歩行者の行動と反応の研究, 日本建築学会計画系論文集, **50**, pp.163-169, 1997.12
- 13) 江原義弘, 山本澄子: ボディダイナミクス入門 歩き始めと歩行の分析, 医歯薬出版, 2002.10
- 14) 太幡英亮, 深松風光, 恒川和久, 谷口元: グーグルストリートビューの活用による商店ファサードの分析, 日本建築学会技術報告集, **18(39)**, pp.693-698, 2012.6
- 15) 持永愛美, 奥田紫乃: 町家カフェの格子密度及びカフェ内部の光環境がファサードの好ましき評価に与える影響, 日本建築学会環境系論文集, **77(673)**, pp. 129-134, 2012.3
- 16) 上田泰久, 福井勉, 宮本秀臣, 山本澄子: 健康者における頸椎の回旋および側屈の運動解析, 日本理学療法学会大会抄録集, **40(2)**, ID: C-P-22, 2013.5
- 17) Seya, Y., Watanabe, K.: Objective and subjective sizes of the effective visual field during game playing measured by the gaze-contingent window method, *International Journal of Affective Engineering*, **12(1)**, pp.11-19, 2013.