

# 3D モデルと AI 空間性能評価を用いた 駅構内の無改札化の影響分析

曾 翰洋<sup>1</sup>・箕輪 拓真<sup>2</sup>・葉 健人<sup>3</sup>・土井 健司<sup>4</sup>

<sup>1</sup>学生会員 大阪大学大学院 工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)  
E-mail: sou.kanyou@civil.eng.osaka-u.ac.jp

<sup>2</sup>非会員 中日本高速道路株式会社 (〒460-0003 名古屋市中区錦2-18-19)  
E-mail: t.minowa.aa@c-nexco.co.jp

<sup>3</sup>正会員 大阪大学大学院助教 工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)  
E-mail: yoh.kento@civil.eng.osaka-u.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 大阪大学大学院教授 工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)  
E-mail: doi@civil.eng.osaka-u.ac.jp

近年、居心地が良く歩きたくなる公共空間へのニーズが高まっている。その中でも、人々の交わりの場、地域の中心として、駅まち空間が着目され、改札内がシームレスかつ一体的な空間設計が求められている。本研究では、歩行者の低速歩行や滞留を促進させる空間性能である *Lingerability* に対し、無改札化がもたらす影響の分析を目的とする。駅まち空間を 3D モデルより再現し、画像認識 AI モデルを用いて、駅まち空間の歩行空間性能を評価した。そして、駅空間の改札有無や改札周辺環境の変化による、空間構成要素や相互作用の影響を分析した。その結果、駅構内の無改札化が *Lingerability* に寄与することを定量的に示した。また、無改札化による歩行者増加に合わせて、カフェや休憩施設を導入することにより、*Lingerability* の更なる改善効果が期待されることを示した。

**Key Words:** station space, non-faregates, 3D model, image recognition, ai evaluation

## 1. はじめに

近年、新型コロナ危機を契機に、居心地が良く歩きたくなる公共空間へのニーズが高まっている。その中でも、人々の交わりの場、地域の中心として「駅まち空間」が着目されている。国土交通省では、安全性、快適性、利便性を備えた「駅まち空間」の一体的な整備、再構築の推進に向け、2020年に駅まちデザイン検討会を設置している<sup>1)</sup>。この駅まち空間再構築の一環として、大阪駅では、駅とまちとのスムーズかつシームレスな移動の提供を目的に、顔認証改札機を導入している。地方都市に目を向けると、土佐くろしお鉄道中村駅では駅構内の実質的な空間を拡大するために改札を廃し、まち、構内、プラットフォームの一体化を図っている<sup>2)</sup>。今後はさらに、MaaSの浸透などにより改札レス化が進み、改札内外がシームレスな一体的な空間となることが予想され、快適な駅まち空間設計が求められている。

これまで、駅空間に着目した研究は数多くあったが、駅内における空間構成に焦点を当てた研究は乏しい。その中で、駅における快適な乗り継ぎと待合

空間に関する研究として、大塚ら<sup>3)</sup>は乗換空間の仮想的な乗換経路選択モデルを構築している。この研究ではモデルのパラメータ推定結果に基づき交通結節空間における移動環境及び待合環境の設備が利用者にもたらす心理的抵抗を定量化し、居心地の良さに関する評価を行っている。このように、駅内の滞在空間に着目した先行研究は存在するものの、駅構内の無改札化がもたらす影響に関する研究は乏しい。

そこで本稿では、3Dモデルにより駅まち空間を仮想空間上に再現し、無改札化などの様々な空間デザインのシナリオ代替案を表現する。その上で、画像認識 AI モデルの評価に基づいて、駅構内における無改札化がもたらす影響の分析を行うことを目的とする。

## 2. 研究手法

### (1) 分析手順

本研究では、研究対象として日本初の自動改札機導入の歴史をもつ阪急電鉄北千里駅を取り上げ、3Dモデルにより駅まち空間を再現する。これに対

し、曾ら<sup>4)5)</sup>が開発した画像認識 AI モデルによる歩行空間の評価手法である AI and human co-operative evaluation (以下, AIHCE) を用い、駅まち空間の「歩きやすさ」と「佇みやすさ」の両面を表す Lingerability という指標から空間性能を評価する。Lingerability とは、空間に佇み、留まることができる居心地の良さに加え、快体験の余韻を楽しむための低速な移動を促す時間と空間にまたがる性能である<sup>6)</sup>。

次に、駅構内の空間構成要素を変化させた複数のシナリオを設定し、現状を再現した 3D モデルに付け加える。それぞれのシナリオに対し、AI モデルによる評価と AI の判断根拠をヒートマップにより可視化する技術である Grad-CAM<sup>8)</sup>を用いて、Lingerability に影響を与える空間構成要素を特定する。

最後に、重回帰分析により、それぞれの空間構成要素およびその組み合わせによる交互作用が Lingerability の評価に与える影響を分析する。

## (2) 3D モデルによる研究対象駅の再現

研究対象駅である阪急北千里駅は、大阪府吹田市古江台四丁目に位置し、阪急電鉄千里線の終着駅である。当駅の一日の乗降人員は約 26,000 人となっており、千里ニュータウンの北の玄関口として機能している。1967 年の開業以来、日本初のオムロン製の自動改札機を導入し、2007 年には、IEEE (アメリカ電気電子学会) から、社会に貢献した重要な歴史的偉業として「IEEE マイルストーン」に認定されている。

阪急北千里駅とその周辺の駅まち空間の 3D モデル作成にあたり、3 次元モデリング・ソフトウェアである SketchUp と、建築ビジュアライゼーションソフトである Twinmotion を用いた。駅まち空間の Lingerability の評価においては、駅構内から商店街への移動ルートを経路 1、駅構内から歩道橋までを経路 2、商店街から駅構内までを経路 3、歩道橋から駅構内までを経路 4 と設定し、これらの経路を分析対象とした。図-1 に、阪急北千里駅の構内図と 4 つの経路を示す。

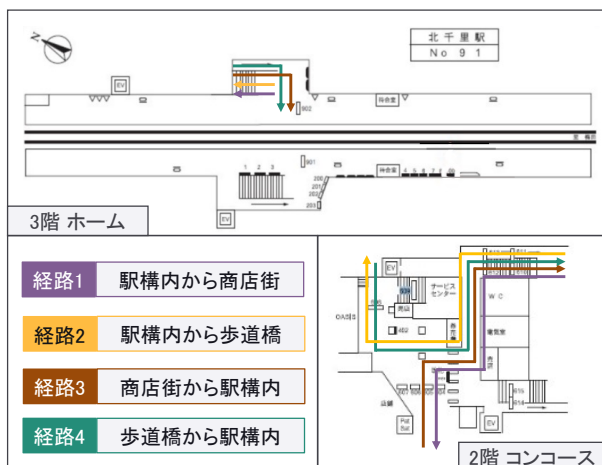


図-1 阪急北千里駅構内図と各経路

## (3) AI による空間性能の評価手法

本研究で用いる AIHCE は、空間構造を奥行方向まで捉えた歩行空間の画像群に対し、不特定多数の印象やナラティブ評価を言葉で結びつけ、評価する画像認識 AI モデルである。

Google 画像検索より、Lingerability に対応する検索ワードとして、“cozy-street”と“dirty-street”を設定し、それぞれを言語ラベルとして、ワードごとに 260 枚、合計 520 枚を学習用データとした。

AI モデルは、高い判別精度を実現するため、事前学習モデルとして VGG16<sup>9)</sup>をベースに、目的となるデータセットに合わせて Fine-tuning<sup>10)</sup>を実施した。VGG16 は、畳み込み層 13 層と全結合層 3 層からなる深さ 16 層のモデルであり、広範囲にわたる画像に対する豊富な特徴表現を学習している。2014 年の画像認識のコンペティション ILSVRC で提案され、1000 クラスに属する約 1400 万の大規模画像データセット ImageNet に対し、その上位 5 つのカテゴリを 92.7%の精度で予測可能である。

Fine-tuning は、事前学習モデルの最終出力層である全結合層を置き換え、浅い層の汎用的な畳み込み層は固定し、AI モデルを学習する手法である。これにより、出力層に近い層の重みのみを目的のデータに合わせて再学習し、スクラッチ学習と比較して、少ない学習データでも精度の高い学習結果を得ることができる。なお、AI モデルの Lingerability に関する学習結果は、検証用データに対する正解率が 0.93、損失値が 0.16 となっている。

本研究では、未知の入力画像を画像認識 AI モデルに入力した際に入力される分類確率(0~1)を Lingerability のスコアとしてとらえた。すなわち、出力される値が 1 に近づくほど「歩きやすい」または「佇みやすい」空間であると判断できる。

## 3. AI による駅まち空間の性能評価

### (1) 実空間との比較による 3D モデルの精度検証

3D モデルにより阪急北千里駅を再現し、歩行者目線で 4 つの経路を移動した動画を出力した。加えて、実空間における同じ経路の歩行動画を撮影した。次に、3D モデル、実空間の各動画を 1 秒毎の画像群として切り出し、画像認識 AI モデルにより各画像の Lingerability を評価した。

全経路における 3D モデルと実空間における評価値の相関係数を表-1 に示す。また、一例として、経路 3 における 3D モデルと実空間に対する評価値を散布図としてプロットした結果を図-2 に示す。

表-1 3D モデルと実空間の評価値に対する相関係数

経路	ピアソンの相関係数	
	駅構内	駅構外
経路 1	0.747	0.715
経路 2	0.758	0.698
経路 3	0.751	0.702
経路 4	0.731	0.685

表-1 より、4 つの経路において、3D モデルで作成した動画と実空間の経路における Lingerability の評価値を比較すると、経路 1 と経路 3 においては、駅構内、駅構外ともに相関係数が 0.7 を超えている。経路 2 と経路 4 では、駅構内は相関係数が 0.7 を超えており、駅構外でも概ね 0.7 に近い値であることが確認された。したがって、全ての経路において、駅構内および構外の両方で一定の高い相関性が示され、3D モデルより作成された駅まち空間の精度に対して一定の妥当性が確認した。

## (2) 経路ごとの Lingerability 評価

4 つの経路について、3D モデルにより再現した現状の駅まち空間の Lingerability を評価した。なお、空間評価にあたり、全ての経路の動画を 1 秒ごとの画像群として切り出し、経路 1 と 3 では 82 枚、経路 2 と 4 では 40 枚の画像群に対して、AI モデルにより評価を実施している。

図-3 は経路 1 と経路 3、図-4 は経路 2 と経路 4 の Lingerability 評価値の時間推移である。なお、縦軸は Lingerability 評価値を、横軸は経過時間（秒数）を表す。経路 1 における Lingerability の平均値は、駅構内が 0.09、駅構外が 0.38、経路 3 では、駅構内が 0.18、駅構外が 0.24 となった。また、経路 2 における Lingerability の平均値は、駅構内が 0.06、駅構外が 0.31、経路 4 では、駅構内が 0.11、駅構外が 0.37 となった。

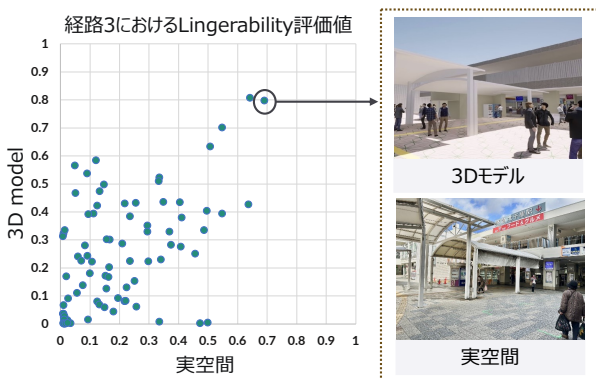


図-2 経路 3 における Lingerability 評価値

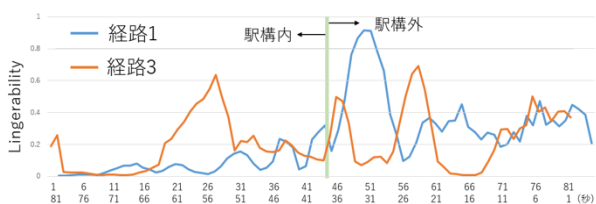


図-3 駅構内から商店街の経路の Lingerability 評価値



図-4 駅構内から歩道橋の経路の Lingerability 評価値

このことより、4 つの経路の駅構外、駅構内別の Lingerability の平均値は、いずれも駅構内のほうが駅構外よりも低くなっていることがわかる。両者の一体化のためには駅構内側の Lingerability の向上施策が望まれる。

## 4. 駅構内の空間性能への影響要素の特定

### (1) 駅構内の空間構成要素として考慮するモデル

駅構内の空間構成要素を変化させ、3D モデルから切り取った静止画から駅構内の各要素の空間性能評価を行い、Lingerability の変化に寄与する要素の特定を定量的に行った。ここでは、「改札有モデル」と「無改札モデル」の二つのベースシナリオとして設ける。図-5 に本研究で考慮する駅構内の空間構成要素を示す。改札有モデルでは、歩行者数の追加、顔認証ゲートの導入、足元空間の色調変化（グレイッシュトーンの有無）、頭上空間の色調変化（グレイッシュトーンの有無）の導入、足元空間および頭上空間の色調の変化による評価値の変化を分析する。無改札モデルでは、歩行者数の増加、足元空間および頭上空間の色調変化に加え、改札内への休憩施設、またはカフェの導入による変化を分析する。なお、歩行者増加のシーンにおいては、フルーインのサービス水準<sup>1)</sup>より、歩行者密度を 2.30-3.25(m<sup>2</sup>/人)とした。これは、「対向流や交差流のあるところでは、衝突の可能性がわずかにある」状態と定義されている。

分析にあたっては、空間要素が静止画に含まれるように、3D モデルの 3 つの視点より、Lingerability の評価を行う。歩道橋から駅構内までの経路を視点 1、商店街から駅構内までの経路を視点 2、駅構内から駅構外までの経路を視点 3 とした（図-6）。

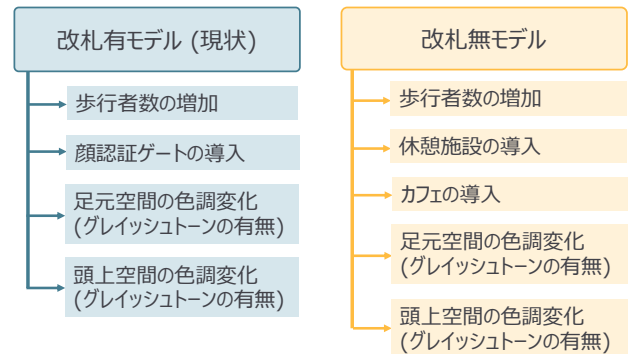


図-5 各シナリオで考慮する駅構内の空間構成要素

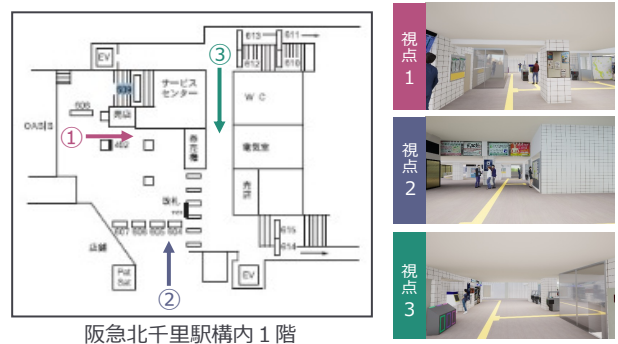


図-6 シナリオ評価における 3 視点

表-2 改札有モデルをベースシナリオとした要素ごとの空間性能評価

項目	視点1		視点2		視点3	
	評価値	基準との差	評価値	基準との差	評価値	基準との差
基準	0.10	-	0.09	-	0.005	-
歩行者増加	0.20	+0.10	0.19	+0.10	0.008	0
顔認証ゲート導入	0.13	+0.03	0.07	-0.02	0.003	0
足元空間 グレイッシュトーン	0.13	+0.03	0.12	+0.03	0.006	0
頭上空間 グレイッシュトーン	0.06	-0.04	0.06	-0.03	0.03	0

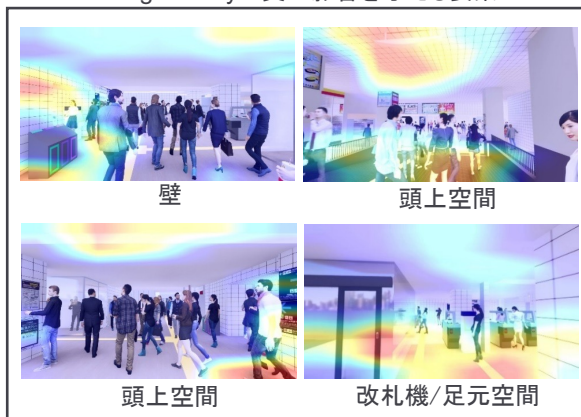
表-3 改札無モデルをベースシナリオとした要素ごとの空間性能評価

項目	視点1		視点2		視点3	
	評価値	基準との差	評価値	基準との差	評価値	基準との差
基準	0.35	-	0.62	-	0.50	-
歩行者増加	0.30	-0.05	0.13	-0.49	0.17	-0.33
休憩施設の導入	0.22	-0.13	0.36	-0.26	0.76	+0.26
カフェの導入	0.23	-0.12	0.33	-0.29	0.35	-0.15
足元空間 グレイッシュトーン	0.51	+0.16	0.77	+0.15	0.58	+0.08
頭上空間 グレイッシュトーン	0.29	-0.06	0.46	-0.16	0.31	-0.19

Lingerabilityに正の影響を与える要素



Lingerabilityに負の影響を与える要素



Positive・Negativeの反応



図-7 Grad-CAMによる空間要素の可視化

(2) シナリオごとの Lingerability 評価

3つの視点による Lingerability 評価について、改札有をベースとしたシナリオの評価結果を表-2に、改札なしモデルをベースとしたシナリオの評価結果を表-3に示す。

改札有モデルをベースとしたシナリオでは、いず

れの視点においても、歩行者の往来や滞留（以下、単に歩行者とする）を増加させたシナリオで Lingerability が上昇した。同様に、足元空間の色調をグレイッシュトーンに変化させたシナリオでは、評価値の上昇がみられた。一方、顔認証ゲートの導入や頭上空間の色調変化のシナリオでは、視点による評価値のばらつきがみられた。また、視点3については、すべてのパターンにおいて Lingerability の評価値が0に近い値をとっている。これは、視点3では、静止画の中央に改札が大きく写っていることから、Lingerability の評価に対し、改札の存在がネガティブに影響していると推察できる。

対して、改札無モデルをベースとしたシナリオでは、改札有モデルに比べ、基準の評価値が高い傾向が示された。それぞれのパターンの変化に着目すると、全ての視点において、足元空間の色をグレイッシュトーンに変化させたシナリオ、また視点3においては、休憩施設を導入したシナリオにおいて評価値が高くなった。

(3) Grad-CAMによる空間性能評価の可視化

駅構内において評価値に影響を与える空間要素を特定するため、Grad-CAMによる空間性能評価の可視化を行った。図-7では、上図に Lingerability の評価にポジティブ（正）の影響を与える空間要素、下図にネガティブ（負）の影響を与える空間要素をヒートマップで可視化している。

Lingerability に正の影響を与える要素として歩行者の存在や空間の奥行き感、側面のカフェ、正面の休憩施設などが挙げられる。一方、負の影響を与える要素としては、側面の壁、改札機の存在、足元空間、頭上空間の色調変化が関わっていることが判る。特に、休憩施設導入のシナリオにおいて、歩行者が存在するシーンにおいてのみ、休憩施設がポジティブの影響を与えることが判明した。このように、複数の空間要素の組み合わせによる交互作用が存在すると推察される。

表-4 重回帰分析の結果

説明変数 対象の有・無に関する 2 項変数	標準化偏回帰係数		
	クラスター1	クラスター2	全サンプル
無改札化	0.542***	0.600***	0.776***
歩行者	0.025	-0.050	-0.067
足元空間(床)の色調	0.117**	0.243***	0.182***
頭上空間(天井)の色調	0.137***	-0.132**	0.206***
カフェ	-	0.140*	-0.018
休憩施設	0.342***	-	-0.157**
無改札化・歩行者の交互作用	0.158*	-	0.226**
無改札化・足元空間の交互作用	0.107*	-0.040	0.034
無改札化・頭上空間の交互作用	0.013	0.052	0.077
無改札化・カフェの交互作用	-	-	-0.200**
無改札化・休憩施設の交互作用	0.035	-	-0.111
歩行者・カフェの交互作用	-	0.019	0.032
歩行者・休憩施設の交互作用	0.009***	-	0.062
無改札化・歩行者・休憩施設の交互作用	0.166*	-	0.090
無改札化・歩行者・カフェの交互作用	-	0.299***	0.034
サンプル数	74	70	144
決定係数	0.963	0.903	0.919
自由度調整済み決定係数	0.957	0.889	0.909

※表中の空白欄は多重線形性により脱落した変数であることを指す  
2 項変数:改札機は無=1, 有=0 とし, その他は無=0, 有=1 と設定  
\*5%有意, \*\*1%有意, \*\*\*0.1%有意

#### (4) 重回帰分析による空間要素の影響分析

重回帰分析を用いて, それぞれの空間構成要素の Lingerability への影響を分析した. 目的変数を静止画の Lingerability の評価値, 説明変数を改札機の有無, 歩行者数増加の有無, 足元・頭上空間の色調変化(グレイッシュトーンの有無), カフェの有無, 休憩施設の有無の 2 項変数とした. なお, 2 項変数は変化ありを 1, 変化なしを 0 とした. 空間構成要素の組み合わせを 72 パターン, 1 パターンごとに 4 視点からの静止画を用意した. それぞれの計 288 枚の画像に対し, 生成したサンプルを 2 つにクラスタリングした上でクラスター毎に重回帰分析を行った. 分析結果を表-4 に示す. なお, 表中の係数は標準化係数を示しており, 計数管の比較が可能である. どのモデルも決定係数が 0.9 を超えており概ね妥当なモデルが得られた.

全てのモデルにおいて無改札化の標準化係数が他の係数と比較して有意に大きい値となっていることから, 無改札化が Lingerability を上昇させる主要な要素であることがわかる. 他方, 歩行者はどのモデルでも有意とはならなかった. また, 足元および頭上の色調やカフェなどの配置も, 有意な影響を及ぼす要素であることが読み取れる.

一次の交互作用の分析結果では, 改札機との交互作用として歩行者, 足元空間の色, 休憩施設が有意となり, これらの説明変数が改札機の有無との交互作用効果を有していることが明らかになった. さらに, 二次の交互作用を考慮した場合, 改札機と歩行者とカフェおよび改札と歩行者と休憩施設が, 交互作用を有していることがわかった.

以上の結果より, 駅構内において改札機をなくし, 改札内外がシームレスな一体的な空間を形成する際

には, 歩行者や利用者の増加に合わせて, カフェや休憩施設の導入により, Lingerability の改善効果が期待され, 佇みやすい空間になると推察される.

#### 5. 結論

本研究では, 3D モデルおよび AI を用いた街路空間性能評価手法を用いて, 将来的に広がるであろう鉄道駅の無改札化による空間の居心地の良さに対する影響の把握を試みた. 駅まち空間を 3D の仮想空間上に再現し, 様々な空間シナリオを付与し, これらの AI による評価の差異を検証するとともに, 空間構成要素やその交互作用を分析した.

結果として, 駅構内では無改札化により Lingerability の評価値が上昇し, 利用者が歩きやすく佇みやすい空間へと改善する可能性が示された. また, 空間要素およびその交互作用項の Lingerability 評価値への影響を確かめる重回帰モデルを構築した. 無改札化の回帰係数が, 他の説明変数と比較して有意に大きい値をとっていることから, 無改札化が Lingerability を上昇させる主な空間要素であることがわかった. また, グレイッシュトーンの落ち着いた足元空間の色やカフェも評価値を上げる要素となっていることも明らかになった.

さらに, 交互作用項の係数から, 改札機との交互作用として歩行者, 足元空間の色, 休憩施設が有意となり, これらの説明変数が改札機の有無との交互作用を有していることが明らかになった. 3 次の交互作用を考慮した場合, 無改札化と歩行者増加に対し, カフェや休憩施設が交互作用を有していることがわかった.

これらの結果から、駅構内において改札機をなくし、改札内外がシームレスで一体的な空間を形成することが駅まち空間の Lingerability 向上に寄与することが定量的に示された。このようなシームレスな駅まち空間の形成においては、歩行者や利用者の増加に合わせて、カフェや休憩施設などの人々が佇むことのできるしつらえの導入により、Lingerability 更なる改善効果が期待される。

なお、CNN を用いた AI による街路空間評価モデルでは画素の重層的な関係を表現しモデル化しているが、各画素あるいはその集合としての空間要素の直接的な影響が捉えづらい点に課題がある。今回行った重回帰分析はこの過程を簡略化し、パラメータを逆推定することで、実空間デザインに資する知見の抽出を行った。今回得られた結果が他の駅空間についても同様となるかは未確認であり今後の検討が必要となる。

### 謝辞

本研究は、JST/COI-NEXT（課題番号 JPMJPF2009）の支援により実施された。ここに記して謝意を表す。

### 参考文献

- 1) 国土交通省, 駅まちデザイン検討会, 2020, [https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi\\_gairo\\_tk\\_000098.html](https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_gairo_tk_000098.html) (access 2024.03.01)
- 2) 株式会社イチバンセン 一級建築士事務所, 土佐くろしお鉄道中村駅リノベーション, <https://www.ichibansen.com/nakamura-station> (access 2024.03.01)
- 3) 大塚 優作, 土井 健司, 葉 健人, 青木 保親, 交通結

- 節空間の移動と待合を考慮した乗換抵抗に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 2021, 77 巻, 5 号, p. I\_757-I\_764
- 4) Sou, K.; Shiokawa, H.; Yoh, K.; Doi, K. Street Design for Hedonistic Sustainability through AI and Human Co-Operative Evaluation. Sustainability 2021, 13, 9066.
- 5) 曾 翰洋, 鹿島 翔, 葉 健人, 土井 健司, 画像認識 AI モデルを用い、通行および滞留機能を考慮した歩行空間の性能評価の試み, 交通工学論文集, 2023, 9 巻, 2 号, p. A\_213-A\_222
- 6) Day, G. and Gwilliam, J.: Living Architecture, Living Cities: Soul-Nourishing Sustainability, Routledge, 2019.
- 7) 中村文彦, 国際交通安全学会 都市の文化的創造的機能を支える公共交通のあり方研究会:余韻都市 ニューローカルと公共交通, 鹿島出版会, 2022.
- 8) Selvaraju, R.R., Cogswell, M., Das, A., Vedantam, R., Parikh, D., and Batra, D.: Grad-CAM: Visual Explanations from Deep Networks via Gradient-Based Localization, 2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), pp. 618-626, 2017.
- 9) Simonyan, K., and Zisserman, A.: Very deep convolutional networks for large-scale image recognition, arXiv pre-print arXiv:1409.1556, 2014.
- 10) Chollet, F., 巢籠 悠輔, (株)クイープ:Python と Keras によるディープラーニング, マイナビ出版, 2018.
- 11) ジョン・J・フルーイン, 長島正充: 歩行者の空間: 理論とデザイン, 鹿島出版会, 1974.

(2024. ?? . ?? 受付)

## IMPACT ANALYSIS OF NON-FAREGATES IN STATIONS USING 3D MODELS AND AI SPATIAL PERFORMANCE ASSESSMENT

Kanyou SOU, Takuma MINOWA, Kento YOH and Kenji DOI

Recently, there is a growing demand for public spaces that foster comfort and encourage pedestrian activity. Station spaces, serving as hubs for community interaction, have garnered particular attention. Achieving seamless and integrated spatial design within ticket gates is essential. This study aims to examine the impact of eliminating ticket gate on lingerability, promoting slow-paced walking and pedestrian engagement. Using a 3D model of a station space, we assessed pedestrian behavior employing image recognition AI. By manipulating ticket gate situation and surrounding environments, we analyzed spatial elements and their interplay. Quantitative analysis revealed that the absence of ticket gates enhances lingerability. Furthermore, introducing cafes and rest areas aligning with pedestrian influx could further enhance lingerability.