

# 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>・青木 保親<sup>4</sup>・土井 健司<sup>5</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 (Corresponding Author)

<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 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: aoki.yasuchika@civil.eng.osaka-u.ac.jp

<sup>5</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、大都市の鉄道駅である大阪駅では、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止し、まち、構内、プラットホームの一体化を図っている<sup>2)</sup>。また、海外に目を向けると、ロンドンのパディントン駅はゲートレスであるために、自転車をホーム上に駐輪できるなど道路と鉄道のシームレスな接続を

実現している。

今後は、MaaSの浸透などにより改札レス化が進むことが想定される。Alhassanら<sup>3)</sup>は、公共交通システムにおける情報技術の発展に伴い、次世代のシームレスな改札システムについて、利用者の受容性に影響を与える要因を特定している。多項ロジットモデルなどの統計分析により、多くの回答者、特に女性や若年層がシームレスな改札を選好する傾向を示している。これらの背景より、駅空間では、改札内外が一体的かつシームレスで快適な空間設計が求められている。

駅まち空間の評価を行っている研究は数多く存在する。小滝ら<sup>4)</sup>は、空間に求められる機能をもとに、駅前広場の環境空間の実態を調査し、計画における課題を整理している。その中で、歩行空間における休憩スペースの確保の重要性を示唆している。山口ら<sup>5)</sup>は、駅前の商業施設と隣接する駅前空間における滞留行動の関係を調査し、近接性や休憩施設の配置によって、利用方法や滞

留時間に影響を及ぼすと述べている。

一方で、駅空間における空間構成に焦点を当て、人の価値尺度に基づいて分析し、評価を行っている研究は乏しい。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>9)</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および待合環境の設備が利用者を与える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、駅構内の無改札機化がもたらす影響に関する研究は見られない。

そこで本稿では、駅まち空間を駅構内および駅周辺の商業・公共エリアを含む空間と定義し、3Dモデルで再現した仮想空間上で、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き、駅構内における無改札化がもたらす影響の統計的分析を試みる。

## 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、現状の駅まち空間を再現する。

その上で、筆者ら<sup>7)8)</sup>の先行研究で開発した深層学習による歩行空間評価手法：AI and human co-operative evaluation (以下、AIHCE)を用い、駅まち空間の評価を行う(図-1 中下段)。AIHCEは、歩行者の視点から、奥行方向まで捉えた歩行空間の画像とその印象を表す言葉を結びつけて評価する画像認識AIモデルであり、歩行者視点に基づく空間の評価を可能とする。AIモデルの評価指標としては、駅まち空間の「歩きやすさ」と「佇みやすさ」の両者を表すLingerabilityという指標を用いる。Lingerabilityは、同じ空間に佇み、とど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ゆったりとした移動を可能にする空間と時間にまたがる性能を指す<sup>9)10)</sup>。

AIHCEは、元々は街路空間を対象に構築したモデルであるが、これを駅まち空間に適用しようとする筆者らの視点は、「駅まちデザインの手引きつながる駅とまち〜駅とまちの上手なつきあい方〜」<sup>11)</sup>の表紙図とも一致している(図-1 上段)。

次に、駅まち空間全体の評価を行ったのち、特に課題があると考えられる駅構内に焦点を当て、詳細なシナリオ評価を実施する。さらに、駅構内の空間要素を変化させた複数のシナリオを設定し、3Dモデルを用いて再

現する。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>12)</sup>を用いて、Lingerabilityに影響を与える空間要素を特定する。

最後に、重回帰分析により、それぞれの空間要素および、その組み合わせによる交互作用がLingerabilityの評価値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2万6千人となっており、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モデル作成を作成するにあたり、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。なお、駅構内及び駅まち空間の調査、3Dモデリングにあたっては、研究室の学生1名が担当した。その詳細を表-1に示す。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、

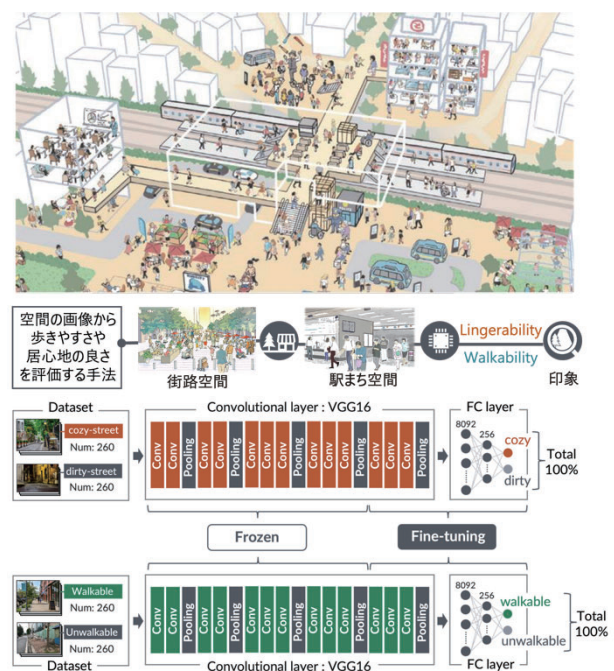


図-1 駅まち空間へのAIHCE適用の視点

表-1 調査及び3Dモデル作成の概要

	期間	所要時間(h)
調査・計測	2023/6/1~7/31	10
3Dモデルの作成	2023/8/1~10/30	350
シナリオの作成	2023/11/1~2024/1/15	150

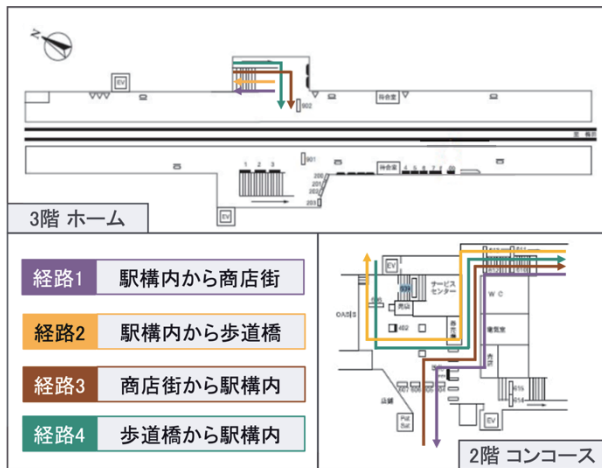


図-2 阪急北千里駅構内図と各経路

表-2 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

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-2に、阪急北千里駅の構内図と4つの経路を示す。

### (3) AIによる空間性能の評価手法

本研究で用いる AIHCE は、空間構造を奥行き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。

図-1 下段の画像評価プロセスに示す通り、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。そのうち440枚を訓練データとして、80枚はモデルの汎用性を図るための検証用データとした。なお、快適さを表す代表的な英単語としては、comfortable, cozy, congenial が挙げられる。オックスフォード英英辞典より、これらの中でcozyは精神的な快適さを含む特定の場所や空間、雰囲気リラックスを感じる時に使用される言葉であると説明されている。そこで、Lingerability に対応するワードとして cozy-street (coziness) を採用した。一方、cozy の対義語には uncomfortable, inhospitable, cold 等が挙げられるが、ストックフォトサービスでの画像検索結果から、検索ワードとして適さないことを確認している。そのため、検索ヒット数が多い言葉として dirty-street を候補としている。なお、dirty-street に対応する画像には、ゴミの散乱した道路空間だけでなく、

路面の維持管理状況や沿道環境・景観の悪い画像、路上駐車が多い画像などが多く含まれている。

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>13)</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>14)</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<sup>注1)</sup>。

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。

AI モデルの実装にあたっては、TensorFlow と Keras の機械学習ライブラリを用いた。VGG16 の全結合層を付け替え、Lingerability について、2クラスに分類されるように分類器を再構築した(図-1 下段)。特徴抽出器では、入力側から10層の重みを固定し、出力側の畳み込み層3層のみを再学習させた。次に、探索的にパラメータ調整を行いながら、学習プロセスを進めた結果、学習は30エポックで収束した。また、オプティマイザは RMSprop を採用し、学習率は  $1e-5$  として、ファインチューニングしたモデルを用いて学習を行った。学習の際には過学習を防ぐため、ランダムな画像の水平移動、ズーム、反転などのデータ拡張を行った。

その結果、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出力される分類確率(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、歩行者目線の高さから捉えた4つの経路の動画を出力した。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、実空間の各動画から1秒毎の画像を切り出し、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-2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-3に示す。

表-2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高い相関性（相関係数0.7）が示され、3Dモデルを用いたAIモデルの評価結果が実空間の評価と一定程度一致することが確認された。また、簡略化された3Dモデルを用いた場合でも、AIモデルが実空間と類似した評価を行えることが判明した。

この結果は、AIモデルが3Dモデル特有の環境特性にも適応可能であることを示唆しており、3Dモデルを用いたシナリオ分析における評価の有用性を示している。

なお図-3より、3Dモデルは現実空間を忠実に再現している一方で、テクスチャや光環境が簡略化されておりこれがAIの評価結果に影響を与える可能性があると考えられる。

CNNを用いた画像認識では、フィルタ処理による特徴抽出が行われるため、特にテクスチャの再現度が低い場合に評価が低下する傾向が見られる。また、本研究で使用したAIモデルの学習ラベルが持つ景観の特性も評価結果に影響を与えている可能性がある。

「cozy-street」は多様な建物や緑地、複雑なテクスチャを特徴とする一方で、「dirty-street」は単調な沿道施設を含む場合が多い。

そのため、3Dモデルの簡略化されたテクスチャや単調な構造が「dirty-street」の特徴に類似するとAIモデルが判断し、評価が低くなる可能性が考えられる。本研究では、3Dモデル間での相対的な評価比較を行っているため、評価の絶対値が低いこと自体が大きな問題とはならないと考えている。ただし、この点を十分に考慮しながらシナリオ分析を進めていく。

(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秒毎に切り出し、経路1と3では82枚、経路2と4では44枚の画像群を抽出した。これらに対して、AIモデルにより評価を実施した。

経路1と経路3、経路2と経路4のLingerability評価値の時間推移をそれぞれ図-4、図-5に示す。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。

以上より、4つの経路のLingerabilityの平均値は、いずれも駅構内が駅構外よりも低くなっていることがわかる。両者を一体的につなぐ駅まち空間を創るためには駅構内側のLingerabilityの向上が望まれる。

4. 駅構内の空間性能への影響要素の特定

(1) 駅構内の空間要素として考慮するモデル

駅構内の空間要素を変化させ、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「改札無モデル」の二つのベースシナリオとして設ける。図-6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、歩行者数の増加、顔認証ゲートの導入、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。改札無モデルでは、歩行者数の

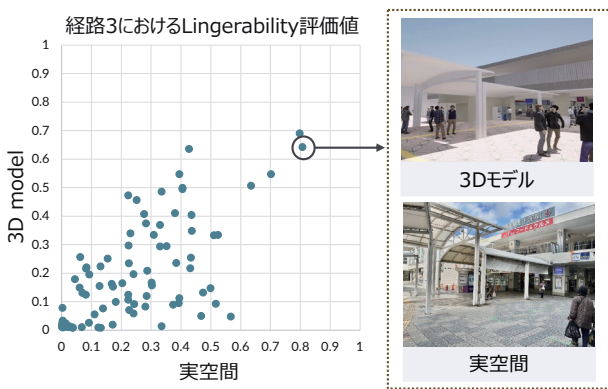


図-3 経路3におけるLingerability評価値

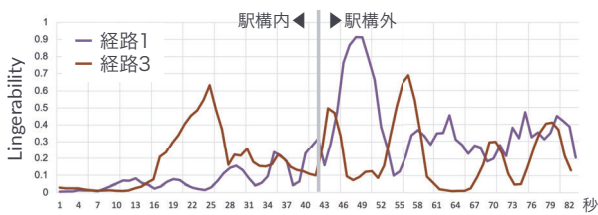


図-4 駅構内から商店街の経路のLingerability評価値

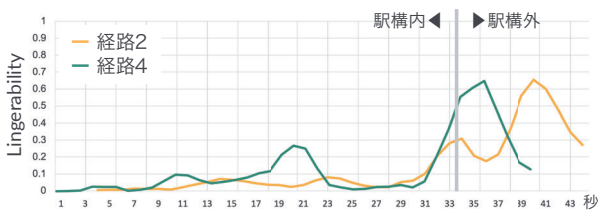


図-5 駅構内から歩道橋の経路のLingerability評価値

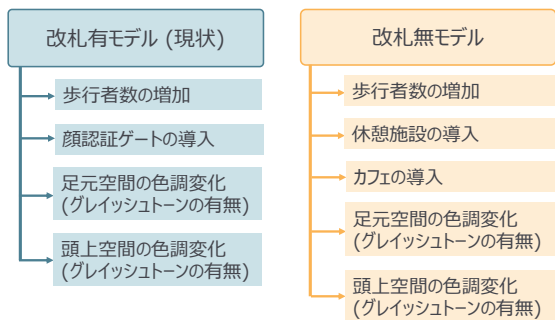


図6 各シナリオで考慮する駅構内の空間構成要素



図7 シナリオ評価における3つの視点

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。

駅内の混雑が顕著でない郊外の鉄道駅を対象としているため, 歩行者数の増加に関しては, フルーインのサービス水準<sup>19)</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。

顔認証ゲートは, 大阪駅で導入されたシステムを参考に設計した。休憩施設は, 土佐くろしお鉄道中村駅の待合施設を参考に, 壁沿いに簡易的な机と椅子を配置した。加えて, 空間の中央には観葉植物を設置している。カフェについては, 落ち着いた色調の空間を意識して設計し, 店内には数組の机と椅子を配置している。これらの要素は視点2から確認することができる。なお, 色調は元の色に対し, 落ち着きのあるグレイッシュトーンへの変化を考える。

以上の変化させた空間要素が含まれるように 3D モデルから3つの視点を切り出し, Lingerability の評価を行った。改札内において, 天下茶屋方面のホームから改札に向かう視点を1, 梅田方面のホームから改札に向かう視点を2, 改札外から改札内まで視点を3とした(図7)。現状シナリオに対して, 各シナリオにおいて導入した顔認証ゲート, 休憩施設, カフェの空間要素を3視点から捉えたシーンを図8に示す。また顔認証ゲートは図7の(a), 休憩施設及びカフェは(b)の位置に配置している。

## (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3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4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)を増加させること, および足元空間の色調をグレイッシュトーンに変化させることで, Lingerability の評価値が高くなることを確認した。他方, 顔認証ゲートの導入や頭上空間の色調をグレイッシュトーンに変化

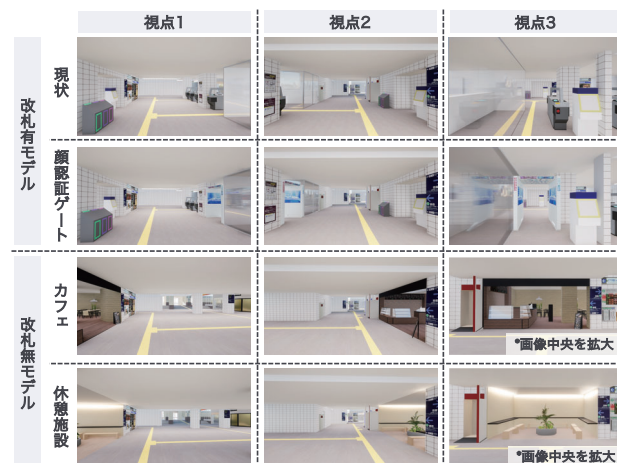


図8 各シナリオで導入した空間要素

させることは, 必ずしも評価値を向上させない。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。

これに対して, 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において評価が向上した。視点2では, 改札機が画像内に映り込んでいないため, 無改札化の影響は小さいように思われる。しかし, 無改札化に伴い, 改札内外を区切る右側の壁面が不要となった結果, 空間全体の開放感が向上し, 評価値の上昇につながったと考えられる。

歩行者の増加に関しては, 広い空間に一定の密度で歩行者を配置したことで, AI モデルが混雑していると判断した可能性がある。また, カフェや休憩施設のみを追加したシナリオでは, 利用者が存在しないため, 閑散とした印象が評価に影響を与えた可能性が考えられる。さらに, 視点3においてのみ休憩施設の導入が評価値の向上につながっているが, これは空間の配色が明るく,

表-3 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-4 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

奥行き感が強調されていると AI モデルが認識した可能性を示唆している。

(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-9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、側面に映るカフェ、正面に映る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、改札機が存在、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。

なお、今回の駅内空間への AI モデル適用に際しては、駅内の混雑が顕著でない郊外の鉄道駅を対象としている。このような状況では、人混みはネガティブな要因として検出されず、特に遠景における人混みは「賑わい」としてポジティブに評価される傾向がみられる。

(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



図-9 Grad-CAMによる空間要素の可視

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。空間要素の組み合わせを 72 パターン、各

表-5 重回帰分析の結果

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

※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

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-5に示す。なお、表中の係数は標準化係数を示しており、係数間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で一体的な空間を形成する際には、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

本研究は、将来的に導入が進むと考えられる鉄道駅のシームレスな駅まち空間の可能性を探索するものである。そこで、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、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設け、AIによる評価の差異を検証するとともに、重回帰モデルにより、空間要素やその交互作用を分析した。

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。

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。重回帰分析では、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示しており、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った。さらに、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Lingerabilityの評価値を上げる要素であることが明らかになった。また、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. 2 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示された.

Grad-CAM により, 側面に映るカフェや正面に映る休憩施設など, Lingerability を高める空間要素が示唆された. これらの結果は, 駅空間の動線計画や再整備におけるデザイン検討において, 具体的な空間要素の配置や導入が Lingerability 向上に寄与することを示す一例として, 重要な示唆を与えるものであると考える.

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利便増進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.

本研究では, 郊外の鉄道駅を対象に AI モデルの適用性を確認した. 一方で, 大都市の都心駅のような混雑状況は, 学習に用いた画像データには見られない. 将来的には, 都心駅への適用に向けて, 学習データの追加・更新が必要である. さらに, 今回得られた結果が他の駅空間についても同様の傾向を示すかについては, さらなる検討が必要となる.

**謝辞:** 本研究は, JST/COI-NEXT (課題番号 JPMJPF2009) および, JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2138 の支援により実施された. ここに記して謝意をする.

## NOTES

注1) VGG16 は, 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.

## REFERENCES

- 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) [Japanese Ministry of Land, Station Town Design Study Group, 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)
- 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> [Ichibansen Inc., First-Class Architect Office, Renovation of Nakamura Station, Tosa Kuroshio Railway, <https://www.ichibansen.com/nakamura-station>] (access 2024.03.01)
- Alhassan, I., Matthews, B., Toner, J. and Susilo, Y.: Seamless public transport ticket inspection: Exploring users' reaction to next-generation ticket inspection, *Journal of Public Transportation*, Vol. 24, 2022.
- 小滝省市, 高山純一, 中山晶一朗, 埴正浩: 駅前広場の環境空間の実態及び計画課題に関する研究—都市中心駅の駅前広場を対象として—, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 71 巻, 5 号, pp. I\_247-I\_259, 2015. [Kotaki, S., Takayama, J., Nakayama, S. and Rachi, M.: Study on actual situation and planning task for environmental space of station square—Case of central station square in city—, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3 (Infrastructure Planning and Management)*, Vol. 71, Issue 5, pp. I\_247-I\_259, 2015.]
- 山口航平, 室田昌子, 赤羽好裕: 駅前大型商業施設と駅前空間における滞留行動の関係性に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 82 巻, 737 号, pp. 1747-1755, 2017. [Yamaguchi, K., Murota, M. and Akaba, Y.: A study on the relationship of sitting and resting behavior action between large-scale commercial facilities and the adjacent station square, *Journal of Architecture and Planning (Transactions of AIJ)*, Vol. 82, Issue 737, pp. 1747-1755, 2017. (Released on J-STAGE July 30, 2017.)]
- 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), 77 巻, 5 号, pp. I\_757-I\_764, 2021. [Otsuka, Y., Doi, K., Yoh, K. and Aoki, Y.: A study on transfer resistance considering pedestrian movement and waiting in transportation nodal space, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3 (Infrastructure Planning and Management)*, Vol. 77, Issue 5, pp. I\_757-I\_764, 2021. (Released on J-STAGE May 18, 2022.)]
- Sou, K., Shiokawa, H., Yoh, K. and Doi, K.: Street design for hedonistic sustainability through AI and human co-operative evaluation, *Sustainability*, Vol. 13, 9066, 2021.
- 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, 9 巻, 2 号, pp. A\_213-A\_222, 2023. [Sou, K., Kashima, S., Yoh, K. and Doi, K.: Evaluating the performance of walking spaces considering passage and retention functions using image recognition AI model, *JSTE Journal of Traffic Engineering*, Vol. 9, Issue 2, pp. A\_213-A\_222, 2023. (Released on J-STAGE February 24, 2023.)]
- Day, G. and Gwilliam, J.: *Living Architecture, Living Cities: Soul-Nourishing Sustainability*, Routledge, 2019.
- 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. [Nakamura, F. and the research group member on public transport supporting cultural-and-creative function of cities by IATSS: *Afterglow Cities -New Local and Public Transport*, Kajima Institute Publishing, 2022]
- 国土交通省, 駅まちデザインの手引きつなげる駅とまち—駅とまちの上手なつきあい方—, 2021, <https://www.mlit.go.jp/toshi/content/001431090.pdf> [Japanese Ministry of Land, Ekimachi Design Guide: Connecting Stations and Towns: How to get along well with Stations and Towns, 2021, <https://www.mlit.go.jp/toshi/content/001431090.pdf>] (access 2024.06.13)

- 12) 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.
- 13) Simonyan, K. and Zisserman, A.: Very deep convolutional networks for large-scale image recognition, arXiv preprint arXiv:1409.1556, 2014.
- 14) 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.
- [ Chollet, F., Sugomori, Y. and QUIPU Co. Ltd.: *Deep Learning with Python and Keras*, Mynavi Publishing, 2018.]
- 15) 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. [Fruin, J. J. and Nagashima, M.: *Pedestrian Space: Theory and Design*, Kajima Institute Publishing, 1974.]

(Received June 14, 2024)  
(Accepted January 13, 2025)

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

Kanyou SOU, Takuma MINOWA, Kento YOH, Yasuchika AOKI 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.