

# 体感型評価ツールを用いた 歩行ルート評価に関する基礎的分析

中村 一樹<sup>1</sup>・大田 佳奈<sup>2</sup>・佐伯 友夏里<sup>3</sup>・紀伊 雅敦<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 名城大学准教授 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

<sup>2</sup>非会員 香川大学 工学部安全システム建設工学科 (〒761-2188 香川県高松市林町2217-20)  
E-mail: s14t010@stmail.eng.kagawa-u.ac.jp

<sup>3</sup>非会員 香川大学 工学部安全システム建設工学科 (〒761-2188 香川県高松市林町2217-20)  
E-mail: s14t019@stmail.eng.kagawa-u.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 香川大学准教授 工学部安全システム建設工学科 (〒761-2188 香川県高松市林町2217-20)  
E-mail: kii@eng.kagawa-u.ac.jp

都市のコンパクト化を支える階層的な交通ネットワークの形成において、最も末端部分の移動と同時に交通モードを接続する移動を担う歩行の役割は大きく、歩行環境の良し悪しは都市開発・交通整備の有効性に大きく影響すると考えられる。しかし、従来の歩行空間評価は個別の地点に注目したものが多く、地点を繋ぐルートの評価する手法が確立されていない。一方で、近年開発が進むVR技術や生理評価手法は、体感型の評価ツールとして、多様なルート環境を動学的に評価することを可能としている。そこで本研究では、体感型評価ツールを用いた歩行ルート評価の基礎的分析を行い、その特徴を整理することを目的とする。まず、VRと生理指標による空間評価手法について文献レビューを行い、歩行空間評価における体感型評価の可能性を整理した。そして、基礎的な実験によりこの可能性を例証するため、VRの視覚ツールとしての特徴を把握し、ケーススタディ地区においてVRと心拍による歩行ルート評価結果を比較した。この結果、VR評価と心拍評価で新たな歩行空間評価の可能性を示す整合的な結果が見られただけでなく、これらの評価の特徴が補完的で組合せが有用であることが示された。

**Key Words :** *pedestrian, route evaluation, Virtual Reality, heart rate*

## 1. はじめに

都市のコンパクト化を支える階層的な交通ネットワークの形成において、最も末端部分の移動となると同時に交通モードを接続する移動を担う歩行の役割は大きく、歩行環境の良し悪しは都市開発・交通整備の有効性に大きく影響すると考えられる。欧米の駅周辺開発 (TOD) では、その有効性を示す歩きやすさ (Walkability) の指標の 1 つとして、歩行距離圏の市街地の大きさを表す Ped Shed といった手法が用いられる<sup>1)2)</sup>。しかし、Lynch のメンタルマップで示されているように<sup>3)</sup>、人が知覚する移動の意識距離は行動習慣や都市構造・交通システムといった移動環境によって大きく影響を受けると言われており<sup>4)5)</sup>、歩行は外部環境との接触が大きいため意識距離への影響も大きいと考えられる<sup>6)</sup>。特に、日本を含めたアジア都市では、駅前で車アクセスを優先した整備も多く見られ、これが歩行環境の障害の一因になること

で歩行アクセスの意識距離を長くしていると考えられる。このため、駅周辺の歩きやすさを評価するためには、駅からの距離だけではなく、駅から周辺目的地までのルートにおける歩行環境の質を評価することで、歩行空間ネットワークの形成に繋げることが重要となる。

しかし、従来の歩行空間評価は個別の地点に注目したものが多く、地点を繋ぐルート进行评估する手法が確立されていない。実行動に基づくルートの分析<sup>7)</sup>では、回遊行動の解析は行われてきたが、これによるルート環境の評価はされていない。景観評価では、印象を表現する形容詞群について空間を評価する SD 法等を用いて、歩行ルート上の複数画像を用いたシーケンス景観の評価<sup>8)</sup>や、動画によるルート評価<sup>9)</sup>が行われている。これらの評価は様々な場所を評価することができるが、固定視点での評価に止まっており、限られた歩行環境の情報しか評価できない。また、これらの評価が行動に及ぼす意識構造も体系的に明らかになっていない。

一方で、近年開発が進む VR 技術や生理学的評価手法は、体感型の評価ツールとして、多様なルート環境を動的に評価することを可能としている。VR 技術としては、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を用いて頭の動きに合わせて視界が動くことで 3 次元空間を体感できる動画やゲームの機器・コンテンツが市販され、その普及が進んでいる。また、生理学的評価手法は心拍・脳波等に基づき心的なストレス変化を計測する手法として開発がされ、心拍の計測装置等は比較的操作が容易で市販されており、一般的に利用可能になっている。

そこで本研究では、体感型評価ツールを用いた歩行ルート評価の基礎的分析を行い、その特徴を整理することを目的とする。まず、VR と生理指標による空間評価手法について文献レビューを行い、歩行空間評価における体感型評価の可能性を整理した。そして、基礎的な実験でこの可能性を例証するため、VR の視覚ツールとしての特徴を把握し、ケーススタディ地区において VR と心拍による歩行ルート評価結果を比較した。ただし、本研究で行った基礎的分析は、新たな手法の可能性を示すために限られたサンプル数での例証を目的としたものであり、結果の妥当性を検証するものではないことに留意が必要である。

## 2. 歩行空間評価における体感型評価の可能性

### (1) 体感型評価による歩行空間評価の発展性

歩行空間評価は、多様な環境要素に影響を受けるため、意識調査に基づく評価が一般的である。SD 法はその代

表的な手法で、評価対象の印象を表す形容詞群に対して段階評価が行われてきた。動画による歩行ルートの評価<sup>9)</sup>では、SD 法の結果として、実行動による評価と整合的な結果であると同時に、より主観的評価の感度が高まる結果が示されている。

しかし、SD 法による印象評価では、歩行空間評価の意識構造が体系的に明らかでなく、歩行行動促進に繋がる評価がされているといえない。これに対して、歩行のニーズは、利便性、安全性、快適性、楽しさといった知覚的要素で構成されるとされ、多様な項目がこれらの要素で整理されている<sup>10, 11)</sup> (表-1)。また、知覚的要素は階層的な欲求段階の構造を持ち、利便性、安全性、快適性、楽しさの順でより上位の欲求となり、下位の欲求が満たされることで上位の欲求が満たされていくとされ<sup>12)</sup>、これに基づく知覚的評価手法が構築されている<sup>13)</sup>。

知覚的評価は、行動評価とも関係づけられる。歩行の主な行動タイプは、通行と滞留に分けられ、通行は利便性や安全性により関係し、滞留は快適性や楽しみとより関係すると考えられる。この違いは沿道施設への関与の大きさの違いとして解釈され、これは経済的や社会的効果も生み出すため、歩行空間整備の総合的な評価指標として重要である。このため、歩きたい・くつろぎたい・立ち寄りたい、といった行動意欲の欲求段階に応じた評価は知覚的評価と対応するもので、これらを組合わせた評価が有用と考えられる。

体感型評価は、歩行空間の知覚的評価や行動欲求評価に大きく貢献することが可能と考える。VR は、現実には実現が難しい欲求段階の上位の欲求を満たすことができるツールと期待されており<sup>14)</sup>、これは歩行にも適用可能である。歩行習慣がない人は、歩行環境の多少の改善では評価は変わらず行動に影響しないかもしれないが、VR による大幅に異なる環境を体感することで、歩行空間への評価を大きく変え行動促進に繋がるかもしれない。経営学のモチベーション理論<sup>15)</sup>では、心の内側から発生する内発的動機付けが弱い場合は、外からの刺激による外発的動機付けにより内発的動機付けが強化されるといわれている。よって、VR 評価は、楽しめるツールによって外発的に欲求段階に刺激を与えることで、内発的な欲求段階の向上をもたらす効果が期待される。

生理指標を用いた評価は、歩行空間をより動的に評価することができ、歩行ルートの環境の変化を評価できる手法の構築に繋がる。生活の質の評価においても、生活者の視点から 1 日の行動の周りの環境の変化を評価することで、ライフスタイルを考慮したインフラ評価が求められている<sup>16)</sup>。しかし、従来のアンケート調査による歩行空間評価手法では、1 時点の歩行環境としての個別の場所も、歩行環境が変化するルートも、同様に静的な評価指標が用いられている。このため、歩行ルート上に

表-1 知覚的要素の整理

要素 (大)	要素 (小)	項目例
利便性	利便性	疲れない
	迅速性	移動の障害が小さい
	信頼性	見通しが良い
安全性	安全性	横断時危険が少ない
	安心性	治安が良い
快適性	快適性	街並みが良い
		天候から保護されてる
楽しみ	社交性	くつろげる
		にぎわいがある
		興味がわく
		親近感がわく

ある多様な環境変化の空間要素が評価に与える動的な影響を考慮することが難しい。生理指標による空間評価では、時系列で環境評価の変化のデータが得られるため、知覚的評価との整合を確認し、影響要因となる空間要素をより正確に把握することが可能となる。

## (2) VR を活用した移動空間の評価

VR を定義づける構成要素は、3次元空間の臨場感、実時間と相互作用し自己投射ができる対話性、仮想空間の自律性といった要素に整理される<sup>16)</sup>。これら全ての要素を満たすには高度な技術が必要となるが、これら一部を満たすものも VR として位置づけられる。例えば、CG やゲームも、臨場感や対話性を持つため VR といえる。近年の代表的な VR 技術である HMD は、頭の動きに応じて視界を動かし3次元空間を体感できるため、臨場感に加え、基本的な対話性を満たすことができる。

VR は様々な分野で技術開発・導入が進んでいる。その1つとして、交通分野で用いられる運転シミュレーターは、車等の走行空間を移したスクリーンで運転者を囲い、車両の操作とスクリーン画像を連動させることで VR 環境を構築している<sup>17)</sup>。また、運転シミュレーターではスクリーンでなく HMD が用いられるようにもなっており、これによる自転車の走行環境を再現するシミュレーターも構築されている<sup>18)</sup>。

VR を用いた空間評価は、建築分野でより行われている。建築環境の評価では、3D 眼鏡を用いた半球型のスクリーン画像の立体視により、室内居住空間の VR 環境が構築されてきた<sup>19)</sup>。また、居住空間内を固定視点で歩行した立体動画の評価もされているが、利用による酔いが評価に与える影響が指摘されており、画像の再現性や見せ方による影響が分析されている<sup>20)</sup>。

VR は、街路等の室外の歩行空間評価にも適用されてきた。歩行空間評価では、室内環境より空間スケールが大きく移動の自由度が高いため、CG で表現した3次元空間を、パソコン操作により自由な視点で見ることが出来る VR 環境が構築されている<sup>21)</sup>。また、多様な空間要素で構成される歩行環境の臨場感を高めるため、CG アニメーションを用いた再現要素が評価に与える影響も分析されている<sup>22)</sup>。さらに、これらの特徴を組み合わせ、頭の動きと連動した HMD を用いて、CG で構成した街路空間の評価も行われている<sup>23)24)</sup>。

しかし、多様な歩行環境の構成要素に対して、CG の再現要素の妥当性は十分に明らかでなく、CG 作成の労力も小さくない。一方で、近年は実画像の撮影技術が進歩し、HMD とともに、360 度映像を動画として撮影するカメラが市販されるようになり、多様な歩行環境の要素を直接評価対象とすることも可能となってきた。360 度動画では、移動の自由についての対話性は CG に比べ

て低く、撮影者の行動軌跡に対する映像に限定されるが、VR 動画の作成の労力が小さく臨場感を高めることができることが利点である。

## (3) 生理指標を用いた移動空間の評価

生理指標は、ストレスを表す指標として様々な移動空間の評価に用いられている。様々な生理指標の中で、比較的操作性と利用可能性が高い評価手法として、心拍データをを用いた手法が挙げられる。自動車の走行評価では、運転者のストレスを計測する指標として心拍変動が用いられ、生活道路の走行評価もされている<sup>25)</sup>。自転車の生理指標による走行評価では、道幅、交通量、見通しといった要素が心拍変動に影響を与えることを示している<sup>26)</sup>。

生理指標は歩行空間評価にも適用され、地下街の階段歩行時や交差点通過時のストレスを心拍変動で示す研究も見られる<sup>27)</sup>。しかし、歩行環境を構成する多様な空間要素の評価には至っておらず、VR 利用で期待される上位の欲求に対する評価はされていない。

さらに、生理指標を用いた VR 分析として、VR 酔いを血圧や心拍の変化で評価する分析行われている<sup>28)</sup>。しかし、VR による空間評価の評価指標としての適用は見られない。

## 3. VR の視覚ツールとしての特徴

### (1) 手法

VR の視覚ツールとしての特徴を把握するため、固定視点の一般動画と VR 動画を用いた評価の比較する実験を行った。VR 動画としては、360 度カメラで撮影した動画を HMD で見るものとして作成した。本研究では、360 度カメラには Ricoh Theta を、HMD には Oculus Rift を使用した。

実験は、2016 年 10 月の香川大学工学部のオープンキャンパスの来訪者 23 名を対象に行った(図-1)。実験



図-1 オープンキャンパスでの実験の様子

内容は、観光地における移動環境の評価で、被験者は一般動画、VR 動画の順で見て、それぞれの動画を見た後に知覚的評価と行動意欲評価のアンケートに回答した。行動意欲については、歩いてみたい・時間を過ごしたい・沿道の店に立ち寄りたい、という項目について評価した。

動画は、香川とタイの観光地周辺の移動環境を撮影し、それぞれの国で3ずつの場所の動画を準備した。普段馴染みのない観光地を見せることで、動画に興味を持たせ、評価だけでなく行動意欲にも影響を与えるかを検証した。特定の場所による評価の偏りを減らすため、香川では、高松中央商店街、小豆島エンジェルロード、瀬戸内国際芸術祭の屋外展示作品、の周辺環境の動画を作成した。同様にタイでは、バンコクの BTS 駅と接続するスカイウォーク、TukTuk の走行環境、チェンマイの寺院周辺、の動画を作成した。

実験での動画の見せ方としては、被験者は、香川とタイの複数の観光地のうちどれか1つの動画を選択して見せた。具体的には、まず固定視点の一般動画として1分程度見せ、その後、HMD を装着して同じ箇所を VR 動画として1分程度見せた。

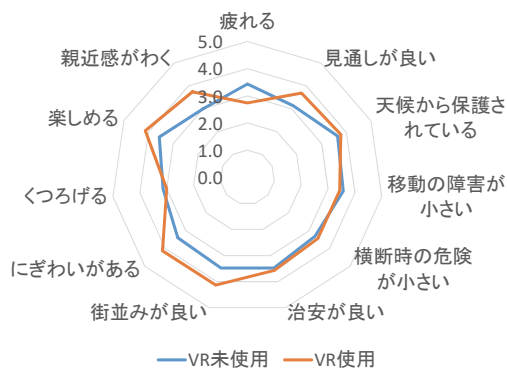


図-2 VR使用による知覚的評価の結果の違い

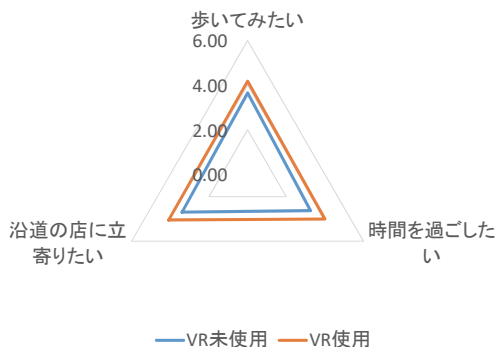


図-3 VR使用による行動意欲評価の結果の違い

## (2) 結果

一般動画と VR 動画を見た後の知覚的評価と行動意欲評価のアンケート結果を、図-2、図-3 に示す。それぞれの評価は5段階評価で行い、数字が高いほど良い評価となっている。観光地への興味もあり、全体的に比較的高い評価となっている。

一般動画と VR 動画の結果を比較すると、知覚的評価と行動意欲の評価でも、VR 動画の評価の方が高い結果が示された。知覚的評価では、にぎわいや楽しめるといった項目で、VR 動画でより高い評価となった。これは、楽しさといったより実現が難しい上位欲求に関して、VR でニーズを満たす可能性を示していると考えられる。一方で、疲れるという項目については、VR 動画の方が低い評価となった。これは、動画の移動環境が疲れるというだけでなく、VR で動画を見ると酔いやすいという特徴に大きく影響を受けていると考えられる。よって、VR 動画を用いた評価では、一般動画より評価の感度が高くなることが示唆された。

行動意欲の評価においては、沿道の店に立ち寄りたいという点で、VR 動画の方がより高い評価となった。これは、行動意欲についても VR で欲求段階の上位欲求のニーズを満たすことができることを示していると考えられる。よって、VR 評価の特徴として、行動促進の効果も期待されることが示唆された。

## 4. VRによる歩行ルート評価

### (1) 手法

VR を用いてどのような歩行環境の空間特性を評価できるかを把握するため、VR による歩行ルート評価を行った。ケーススタディは、香川県の高松中央商店街とする。高松中央商店街は、7つの商店街が繋がり全延長が約3kmという日本有数の長さを持つアーケード街として、歩行空間のネットワークを形成している。しかし、再開発が進む中心部の丸亀町商店街に来訪が集中し、他の周辺商店街は来訪者が減少傾向にある。また、高松駅は最寄りとなる兵庫町商店街から500mの距離で立地しているが、歩行空間の見通しが悪く、駅から中央商店街へ来訪する歩行者は少ない。高松駅から中央商店街へは都市鉄道の琴平電鉄でも来訪可能であるが、最寄の高松築港駅まで500mの距離にあり、この歩行空間の接続性も幹線道である中央通りの交通量の多さで阻害されている。丸亀町商店街へ車やバスで直接来訪することとなり、現況の歩行ネットワークが周辺商店街への回遊促進に効果的に機能していない。このため、中央商店街と高松駅をつなぐ中心市街地の歩行ネットワークの形成が課題と



図-4 ケーススタディ (ルート1)



図-5 ケーススタディ (ルート2)



図-6 ケーススタディ (ルート1) の区間分割

なっている。

これらを踏まえ、高松駅から兵庫町商店街を通り丸亀町商店街の再開発施設である丸亀町グリーンまでの歩行ルート (1.5km) を、本研究のケーススタディ地区とする。ケーススタディのルートとして、見通しが悪いが兵庫町商店街をより通るルート1と、交通量が多いが分かりやすい中央通りを通るルート2の、歩行ルートの評価を比較する (図-4, 図-5)。

ケーススタディ地区のルートについて、VR 動画を作成し、各ルートの知覚的評価と行動意欲評価のアンケート調査を行った。調査は、2017年1月に香川大学工学部の学生で男女各5名ずつの計10名に対して行った。本

調査では、オープンキャンパスでの実験と同様に、被験者は各ルートの VR 動画を見てアンケート調査に回答した。VR 動画で見る箇所は、各ルートを通りの区間で区切り (図-6)、各区間の特徴を示す箇所の 30 秒分の動画を組み合わせ、全ての被験者が同じ箇所の VR 動画を約3分見るように条件を合わせた。

## (2) 結果

ルートの空間特性による VR 評価の結果、ルート1はルート2に比べより高い評価となった。知覚的評価では、ルート1は、天候からの保護や移動の障害について評価が高かった (図-7)。これは、商店街をより多く含むルート1では、アーケード街や交通量が少ない道をより通ることに起因していると考えられる。一方で、ルート1は人通りの少ない裏道を通り兵庫町商店街に繋がるため、にぎわいや街並みについては若干評価が低かった。しかし、ルート1の評価の高さの方が顕著であり、分かりにくい道でも VR で体感することでその良さが評価され得ることが示唆された。

行動意欲の評価についても、沿道の店に立ち寄りたいたについて、ルート1がルート2より高い評価となった

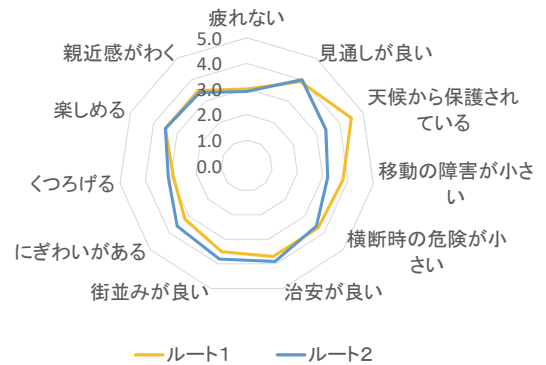


図-7 ルート1とルート2の知覚的評価

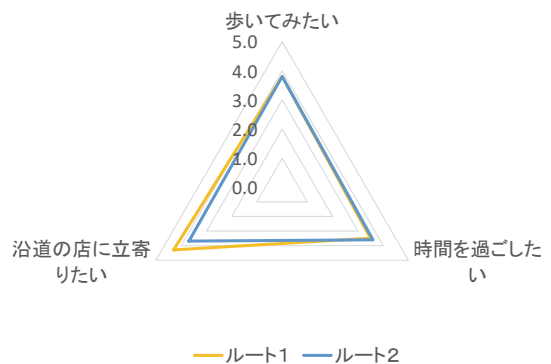


図-8 ルート1とルート2の行動意欲評価

(図-8) . これは、ルート 1 で幹線通り（中央通り）に代わって兵庫町商店街をより通ることによって起因していると考えられる。兵庫町商店街は来訪の主目的地となるような施設は少ないため、ルートとして評価されることで立寄りの意欲を高めたのは興味深い。

## 5. 心拍による歩行ルート評価

### (1) 手法

ルート全体を対象にしたアンケートによる評価に対して、空間特性が評価に与える影響をより詳細に分析するため、心拍による評価を行った。評価指標としては、心拍間隔（RRI）の変動の分散を表す LP（ローレンツプロット）面積を、生理快適性の評価指標として計測した。LP 面積は大きいときに生理快適性が高いとされている。

本調査では、ルート歩行時の心拍数を計測し、そのデータから RRI と LP 面積を算出した。この評価は、被験者 1 名が VR 動画による評価と同じルートを歩行し、VR 動画を撮影中に同行者が心拍計を装着して計測した。ここでは、高松駅から丸亀町グリーンまでのルートを 2 回往復した。被験者が 1 名のため、結果の妥当性の検証は十分でないが、歩行空間評価における心拍評価の可能性を例証できるかに注目した。

RRI の算出において、信号待ちのため横断歩道で静止しているときの心拍変動は、運動時の歩行時と大きく異なるため、分析対象から外した。LP 面積は、ルートと同じ特徴の道の区間で区切り、区間毎に算出した（図-9）。この結果、2 ルートとも 6 区間に対して、各区間の LP 面積を算出した。

### (2) 結果

心拍評価の結果、ルート 2 よりルート 1 の評価が高く、VR 動画によるアンケート評価と同様な結果となった（図-10、図-11）。しかし、その評価の差が大きく、2 ルート目の方が後に心拍計測したことで運動による疲れ

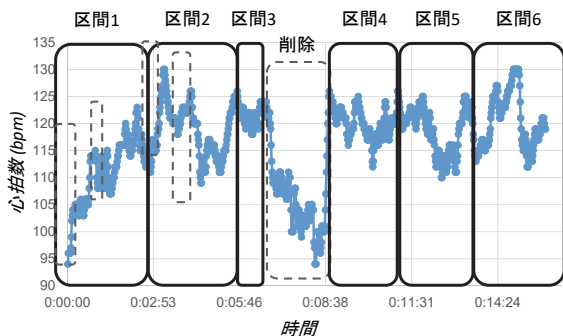


図-9 心拍データの分割



図-10 ルート1の生理快適性



図-11 ルート2の生理快適性

が結果に大きく影響していると考えられる。このため、運転環境のシミュレーションと異なり、歩行環境では疲労が大きく評価に影響するため、室外調査で同じ条件に合わせることが難しいこと示唆された。

一方で、ルート内の生理快適性の評価の変化については、VR 動画の知覚的評価と総合的で、より詳細な評価結果の空間分布が見られた。まず、高松駅から兵庫町商店街までのルートでは、ルート 2 の交通量が多い中央通りでより低い評価が見られた。また、ルート 1 の兵庫町に入る手前の道は、電柱の地中化を行っており、この区間で評価が高い結果も見られた。次に、兵庫町商店街から丸亀町商店街までは、丸亀町商店街に行くほど評価が高くなる結果となった。特に、ルート 1 では、兵庫町商店街での評価が入り口の西側より東側の方が高く、商店街の繋がりがあるほど評価が高くなった。

## 6. 結論

本研究では、歩行ルート評価における VR と心拍データを用いた体感型評価ツールの特徴を整理した。まず、歩行空間評価における体感型評価の可能性として、VR 評価では上位の歩行欲求の評価を可能とし行動促進の効果が期待できること、また、動学的な歩行空間評価により歩行環境に影響を与える空間要因をより正確に把握することが可能であること、を既往文献のレビューを踏まえて示した。

また、この可能性を例証するため、限られたサンプル数で幾つかの基礎的な分析を行った。VR の視覚ツールとしての特徴を把握するため、一般動画と VR 動画による観光地周辺環境の評価結果を比較したところ、VR 動画は評価の感度が高くなり実現が難しい上位欲求に対する評価が高い結果が確認された。次に、VR による歩行ルート評価を行った結果、分かりにくいルートでも、天候からの保護があり移動の障害が小さいルートでは、知覚的評価が高く立寄りの行動意欲も高めることが示された。最後に、VR の疑似歩行でのアンケートと実歩行での心拍による評価を比較した結果、VR 評価と整合的な結果が示され、商店街の繋がりが評価を高めるといったより詳細な評価結果の空間分布も見られた。一方で、体感型評価手法の課題として、VR 酔いに伴い評価が低くなる結果や、心拍評価で歩行の疲れが評価結果に影響する結果も見られた。

これらの結果の知見として、多様な歩行ルートを体感できる VR 評価とこの体感を動的に計測できる心拍評価は、歩行空間評価の空間と時間の拡張に大きく貢献できることが示された。歩行空間評価の空間の拡張は、実行動では体験できない上位欲求の評価を可能とし、行動促進にも繋がると期待される。これは、都市化によるモータリゼーションとともに歩行習慣が減る都市住民に対して、実環境を超えた歩行空間評価を行うことができ、歩行促進のツールとなる可能性がある。

また、歩行ルートの評価において、心拍評価による歩行空間評価の時間の拡張は重要であると同時に、VR 評価と組み合わせることで互いの課題を補完することができる。VR による歩行の上位欲求の評価はアンケートによる意識調査が必要だが、1 時点の評価だけでは空間要因の特定は難しい。心拍評価は、この空間要因の特定に貢献できるだけでなく、VR 酔いの評価にも適用可能といえる。一方で、心拍評価は、歩行の疲労による環境条件の変化が課題となるが、VR による疑似歩行の室内実験によりより環境の管理が可能となることが期待される。

このような体感型評価ツールを用いた歩行ルート評価

は、今後の都市・交通計画において有用なツールとなりうる。都市のコンパクト化やネットワーク化においても、「歩ける」まちづくりが必要となるが、このようなビジョンが一般的に実感できない段階では、VR の活用は非常に有効と考える。この評価手法の適用範囲についても、多目的な移動における歩行や、多モードを繋ぐ歩行と、多様な歩行を評価することができる。これらを踏まえ、体感型評価ツールを用いた歩行ルート評価手法の構築は、新たな計画手法のアプローチとして潜在性が高く、今後はデータ数を増やした更なる分析の発展が期待される。

謝辞：本研究は、JST asia Joint Research Program 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) Duany, A., Plater-Zyberk, E., Speck, J.: *Suburban Nation: The Rise of Sprawl and the Decline of the American Dream*, North Point Press, New York, 2010.
- 2) Steuteville, R.: *Great Idea: Pedestrian Shed and the 5-minute walk*, 2017.  
<https://www.cnu.org/publicsquare/2017/02/07/great-idea-pedestrian-shed-and-5-minute-walk>
- 3) Lynch, K.: *The Image of the City*, Harvard University Press, Massachusetts, 1960.
- 4) Hillier, B., and Hanson, J.: *Social Logic of Space*, Cambridge University Press, 1984.
- 5) 岡本耕平：名古屋市における認知距離，地理学評論，No.56, pp695-713, 1983.
- 6) 米谷一心・鈴木聡士・東本靖史・五十嵐日出男：意識距離の短縮効果を有する歩行空間の創出に関する基礎的研究，地域学研究：日本地域学会年報，No.32, pp.173-187, 2001.
- 7) 西井和夫・土井勉・川崎雅史・西野至・服部純司：洛西・洛東エリアにおける観光スポットイメージと回遊行動特性に関する分析，土木計画学研究・論文集，No.17, pp.515-523, 2000.
- 8) 加藤祐介・吉田博宜：史跡岡城跡におけるシーケンス景観の分析，ランドスケープ研究，No.5, pp.637-642, 2003.
- 9) 辰巳浩・外井哲志：屋外での景観評価と動画を用いた室内実験での景観評価の相違性に関する研究，都市計画論文集，No.42, pp.169-174, 2007.
- 10) Speck, J.: *Walkable City*, North Point Press, New York, 2012.
- 11) Florez, J., Muniz, J. and Portugal, L.: Pedestrian quality of service: Lessons from Maracanã Stadium, *Social and Behavioral Sciences*, Vol. 160, pp. 130-139, 2014.
- 12) Alfonzo, M.: To walk or not to walk; The hierarchy of walking needs, *Environment and Behaviour*, Vol. 37, pp. 808-836, 2005.
- 13) 中村一樹・紀伊雅敦：歩行行動の欲求段階に基づく歩行空間の質の知覚的評価手法の構築，土木学会論文集 D3, Vol.72, pp.1861-1870.

- 14) 稲見昌彦：VR/AR の現状と未来への展望，IEEE プレスセミナー，2017.  
http://www.dospara.co.jp/express/vr/348684
- 15) Pink, D.: Drive; The Surprising Truth about What Motivates Us, Riverhead books, New York, 2011.
- 16) 遠藤守・安田孝美・横井茂樹・林良嗣：仮想都市空間評価のためのドラマシミュレーションシステム，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol.8, pp.93-102, 2003.
- 17) 舘暲・佐藤誠・廣瀬通孝：バーチャルリアリティ学，コロナ社，2010.
- 18) 赤松幹之：ドライビングシミュレータとドライバー行動モデル，日本バーチャルリアリティ学会誌，Vol.9, pp.27-62, 2004.
- 19) 宮之上慶・鈴木美緒・屋井鉄雄：自転車シミュレータにおけるハンドル操作及び走行速度の再現性の検討，人間工学，Vol.52, pp.81-87, 2016.
- 20) 横井梓・斎藤美穂：VR 空間における心理的影響の評価に関する検討；大型スクリーンを用いた居住空間シミュレーションにおける VR 空間の感性評価，日本建築学会環境系論文集，Vol.78, pp.1-7, 2013.
- 21) 小野浩司・吉澤望・平手小太郎：被験者属性に着目した VR の印象評価と VR 酔いの予備的検討；VR 技術を用いた居住環境の提示・評価に関する基礎的研究その 1，日本建築学会環境系論文集，No.583, pp.65-71, 2004.
- 22) 永井英樹・山中英生・山口行一・三谷哲雄：VRML を用いた景観シミュレーションの利用環境分析，土木計画学研究・論文集，Vol.18, pp.363-370, 2001.
- 23) 松本直司・高井智代・高北卓軌・長谷川博一：3DCG アニメーションを用いた美濃市旧牧谷街道の景観修景に関する研究，日本建築学会技術報告集，Vol.16, pp.351-356, 2010.
- 24) 小野原靖・岸本達也：HMD とジャイロセンサーを組み合わせたインタラクティブな VR システムによる街路空間評価の可能性，日本建築学会技術報告集，Vol.20, pp.279-284, 2004.
- 25) 小泉光司・岸本達也・小場則夫：街路の統一感と建物の独自性に着目した横浜元町通における景観分析；個性的な街路景観創出を目的とした VR を用いた景観分析その 3，日本建築計画系論文集，Vol.74, pp.393-400, 2009.
- 26) 橋本成仁・海野遥香：RR 間隔を用いた生活道路内走行時のドライバーのストレス反応に関する研究，都市計画論文集，Vol.51, pp.1227-1233, 2016.
- 27) 鈴木弘司・今井克寿・藤田素弘：心拍変動を用いた自転車利用者の幹線街路評価に関する研究，Vol.69, I 857-I 867, 2013.
- 28) 本多薫・若井正一：地下街歩行時の心拍変動を指標とした生体負担の測定に関する実験的検討，日本建築学会計画系論文集，No.603, pp.57-64, 2006.
- 29) 小野浩司・大山能永・吉澤望・佐野奈緒子・平手小太郎：疲労と生理応答を対象とした VR 酔いの検討；VR 技術を用いた居住環境の評価・提案に関する基礎的研究その 2，日本建築学会環境系論文集，No.594, pp.77-83, 2005.

(2017.7.31 受付)

## EXPERIMENTAL ROUTE EVALUATION FOR PEDESTRIANS USING VIRTUAL REALITY MOVIES AND HEART-RATE MONITORING

Kazuki NAKAMURA, Yukari SAEKI, Kana OTA, Masanobu KII

Walking increasingly plays an important role in feeder access and multi-mode access for urban compaction with hierarchical transport network development, in which the levels of walk environments significantly affect the effectiveness of land use transport policies. However, more attention has been paid to evaluation for individual walk places, but the evaluation for walk routes has not been established yet. On the other hand, recent technology development of Virtual Reality (VR) and physiological monitoring extends the space and time dimensions of walk-environment evaluation as sensation-based evaluation. Accordingly, this study aims to clarify the characteristics of walk-route evaluation using the sensation-based evaluation techniques from the experimental analysis. First, the conceptual framework of sensation-based evaluation for walk routes is developed, identifying the potential contribution to walk-environment evaluation of VR evaluation and Heart-Rate (HR) evaluation. Then, experimental analyses are carried out by comparing the evaluation results between normal movies and VR movies and between different walk routes with VR movies and HR monitoring. The results show not only the consistent results between VR evaluation and HR evaluation, implying the potential of the new evaluation, tools but also the complementary characteristics of those evaluation methods.