没入型 Virtual Reality を用いた 混雑空間評価における歩行目的の影響

菊池　佳奈[1]・吉村　貴克[2]・上村　恵子[3]・町田　貴史[4]

[1]正会員　（株）豊田中央研究所　協働知性研究領域（〒480-1192 愛知県長久手市横道 41-1）
E-mail:kana_kikuchi@mosk.tytlabs.co.jp

[2]非会員　（株）豊田中央研究所　協働知性研究領域（〒480-1192 愛知県長久手市横道 41-1）
E-mail:yoshimura@mosk.tytlabs.co.jp

[3]非会員　（株）豊田中央研究所　協働知性研究領域（〒480-1192 愛知県長久手市横道 41-1）
E-mail:uemura@mosk.tytlabs.co.jp

[3]非会員　（株）豊田中央研究所　ｸﾗｳﾄﾞｲﾝﾌｫﾏﾃｨｸｽ研究領域（〒480-1192 愛知県長久手市横道 41-1）
E-mail:machida@mosk.tytlabs.co.jp

誰もが居心地のよい歩行者空間を目指すためには，来訪目的に応じた混雑状況に対する感じ方の差異について理解することが重要である．本研究では，没入型 Virtual Reality を用いて広場空間内における複数段階の静止した歩行者密度を閲覧し，想定する歩行目的（通過／回遊）に応じた快－不快感について主観評価実験による検証を行なった．結果，想定する歩行目的によって歩行者密度に対する快－不快感の評価傾向に差があり，回遊の場合は通過の場合と比べて低密度範囲で快の程度が低く，かつ高密度範囲で不快の程度が低かった．したがって，同じ混雑状況であっても空間の利用目的に応じて感じ方が異なることが示唆された．このことから特に混雑が予想される広場型の歩行者空間では，通過目的の経路と回遊・滞留目的のエリアを分け，前者が後者よりも空いている状況となるよう容量を設計することで，全体としてより心地よく過ごすことができる場所にできる可能性がある．

Key Words: *歩行者密度, 歩行目的, 快－不快感, 主観評価, 没入型 Virtual Reality*

1. 背景

歩行者空間体験を考える上で，混雑はその質を大きく左右する要因であるため，適切な度合いとなるように歩行者空間を設計・活用する必要がある．混雑の程度と対応する歩行者空間の質について，密度などの指標を用いて定量的な水準を提唱した Level of Service[1]では，通路のような通行空間やロビーのような滞留空間といった空間の利用目的ごとに異なる数値基準を設定している．しかしながら，歩行者空間に関する Level of Service[1]は歩行者交通流の挙動や歩行者の移動行動の変化に主眼を置いて各水準を記述しており，それらの水準が歩行者のどのような主観体験と対応しているかを定量的なデータとして示しているわけではない．そのため，空間の利用目的に応じて設定された各水準が，実際の歩行者の主観体験とどう関係しているかは自明ではない．

歩行者空間における適切な混雑度合いを理解するためには，客観的な行動データだけではなく，ヒトの主観的な感じ方を考慮することが重要である．これに関して，近年では動的な混雑状況を扱った研究の中で，行動データと主観体験の対応関係について検証が進められてきている[2),3)]．このような動的な検討を通じて，混雑に関する主観体験は客観指標との関係性における理解が深まってきているものの，歩行目的などの混雑を体験する状況の影響については未だ多くが明らかになっていない．現実における混雑の主観体験は極めて複合的な事象の帰結であり，物理的要因だけでなく社会的要因や個人的要因などとの相互作用によって生じる[4)]．そのため混雑の主観体験を説明するためには，ある個人が置かれた状況などの影響も踏まえた，総合的な検討が必要である．

そこで本研究では，混雑の主観体験に対する歩行目的の影響に焦点を当てて，実験的検証を行なう．歩行目的に着目する理由として，例えば広場を通過する目的で歩行している場合と広場で散歩する目的で歩行している場合では混雑に伴う快－不快などの感じ方が異なることが想定され，その主観体験への影響は大きいと考えられるためである．なお，歩行目的の影響を検証するにあたり，可能な限りその他のバイアスを排除した実験設定とする

ことが重要となる．これを実現するために，本研究では視覚刺激の統制が容易である Virtual Reality（以降 VR）を使用し，段階的な混雑度合いに応じた主観体験への歩行目的の影響を調べる．

2. 本研究の位置づけ

(1) 目的

本研究では，没入型 VR で提示する広場空間内における静止した歩行者による段階的な混雑度合いに対して，想定する歩行目的に応じた主観的混雑感および快－不快感の差を検証することを目的とする．なお本研究で扱う混雑度合いは，空間全体における歩行者密度の水準として定義する．

(2) 仮説

本研究の仮説は以下の通りとした．

① 想定する歩行目的によって歩行者密度に対する主観的混雑感の評価が異なる

② 想定する歩行目的によって歩行者密度に対する快－不快感の評価が異なる

3. 既存研究

ある空間における混雑状況の主観体験として，ポジティブまたはネガティブな評価を扱った研究は複数存在する．しかし，歩行目的による評価の違いを検証した研究はほとんど存在していない．

フィールド実験により主観的な不快感や知覚混雑度と客観的な行動指標との関係を検証した Jia ら [2]は，通路における知覚混雑度は局所密度よりも歩行速度によってよりよく説明される結果を示し，主観体験を説明する際の指標の再検討と Level of Service[1]等の基準設定として静的な空間全体から動的な個の体験への展開可能性に言及した．しかしながら歩行目的という観点では，あくまで比較的高密度な状況下において通路を通行する場合に限定された知見となっている．

また VR による実験を通じてポジティブおよびネガティブ評価を検討した Dickinson ら [3]は，3 水準の歩行者密度による双方向交通流がある屋内通路空間で移動を伴うタスクを実施している場合，ネガティブ感情が高密度状況で有意に増加することを明らかにした．しかし，歩行目的はタスク実行のための移動となるため，その他の歩行目的の場合についての示唆は得られていない．

写真と動画を用いた実験により空間における歩行者量に対する望ましさの評価を扱った Nouri[5]は，街路空間における 3 水準の歩行者量について主観的な望ましさを 4 段階評価させ，写真・動画のいずれの場合も中程度の歩行者量で最も評価が高くなる結果から，歩行者量に対して望ましさが逆U字となる可能性を示唆した．しかし，想定する歩行目的については，街路空間をゆっくり回遊する歩行目的の想定のみを扱っており，複数の歩行目的を比較するような検討は行なっていない．

したがって，様々な空間の混雑状況に対する主観評価を扱った既存研究のうち，明確に異なる複数の歩行目的を比較した研究はみられていない．

4. 実験手法

本研究における実験手続きは，すべて（株）豊田中央研究所の研究倫理審査委員会の承認のもと実施した．本研究で取得した個人情報は，所定の方法で厳重に管理し，個人関連情報は個人が特定されない形で分析に使用した．

(1) 被験者

被験者は，人材派遣会社を通じて募集した 20～50 代の健康な成人 20 名（男性：10 名，女性：10 名）で，年齢は平均 36.0（SD=11.58）歳であった．なお被験者は，歩行目的に関して異なる条件を割り当てる目的で 2 群に分けられ，両群は男女 5 名ずつの 10 名で，それぞれ年齢は平均 36.0（SD=12.00）歳と平均 36.0（SD=11.14）歳であった．安全上の配慮として，募集時に事前回答した動揺病チェックシート [6]により被験者を乗り物酔いしにくい方に限定するとともに，自己報告によりてんかん等の精神疾患がないことを確認した．また検証内容に関連して，混雑の体験に文化差が影響することが考えられる [7]ため，今回は被験者を日本人で統一するとともに，実験中の教示による歩行目的の想定がおおよそ被験者間で同様のものとなるよう，今回は日常生活における歩行時に補助具等を使用していないことを参加条件に加えた．

被験者は，本研究の目的，方法，リスクに関する十分な説明を受け，全員が自らの自由意思で実験に参加した．なお本研究は，各被験者が最大 90 分間で 2 種類の VR 実験に取り組むうちの 2 番目の実験として実施された内容であり，異なる趣旨の VR 実験の後に行なわれている．ただし直前の実験で VR 環境を閲覧してから本研究の実験として VR 環境を閲覧するまでには，休憩を含めて 5 分以上の間隔が設けられた．被験者は 2 種類の VR 実験に協力した報酬として，後日謝金を受け取った．

(2) 設備・装置

a) 実験室環境

実験は一般的な会議室空間内（以降実験室）で実施し

た．実験室には，被験者が実験中に座る回転椅子と，ヘッドマウントディスプレイ（以降 HMD）やコントローラを置くための机を用意した．また，実験者が使用する机や椅子，モニターなどをその側方に配置した．

実験は常に 1 人以上の実験者が立ち合い，被験者の実験遂行を監視・補助した．途中，実験関係者による実験室の出入りはあったが，関係者以外の立ち入りはなかった．

b) 実験機器・システム

実験で使用した HMD は Oculus Rift S[8]と Meta Quest 2[9]で，被験者はこのいずれかを使用した．HMD の使用機種が被験者間で統一されていない理由は，長時間にわたる継続的な使用により HMD の動作に不具合が多く発生し，実験継続のため使用機種を途中で変更せざるを得なかったためである．HMD は PC（MSI GE76-11UH-598JP）に有線接続した状態で，被験者への VR 環境提示のために使用された．被験者による画面操作および入力は，すべて HMD にペアリングされた右手のコントローラにより行なわれた．なお実験中，実験室外からの騒音の影響が懸念される状況と判断された場合にのみ，被験者は一時的にノイズキャンセリングイヤホンを着用した．

実験で提示した VR 環境はすべて Unreal Engine 5[10]を用いて制作した． VR 環境は，段階的な混雑度合いを体験するための広場空間と，説明文を表示するための画面がある閉鎖空間により構成された．

(3) 実験変数

本研究における実験変数は，被験者内要因として歩行者密度（11 水準），被験者間要因として歩行目的（2 水準）を設定し，2 要因混合計画により実験を行なった．

a) 歩行者密度

歩行者密度は，0.001, 0.002, 0.004, 0.01, 0.02, 0.04, 0.1, 0.2, 0.4, 1, 2 人/m^2 の全 11 水準とした．本研究では，すべての条件で 4000m^2 の広場に対して各密度水準を適用したため，実際に空間内に配置されたエージェントの人数はそれぞれ 4, 8, 16, 40, 80, 160, 400, 800, 1600, 4000, 8000 人であった（**図-1**）．

各密度水準に対して，エージェント位置の空間全体の配置パターンは 3 種類ずつとした．エージェント位置は，エージェント同士が重ならないよう中心間距離が互いに 45cm 以上となるよう最大密度（2 人/m^2＝8000 人）の位置を空間内にランダム配置した後，そこからランダムに間引いていく方法で各密度水準のエージェント位置を作成した．そのため，各密度水準における配置は 4000m^2 の広場空間内で均質とは限らず，局所密度は空間内の位置に応じて異なっている状態であった．エージェント位置に対する歩行者の 3D モデルの割り当ては，種類および向きを試行ごとにランダムとした．よって，各密度水準に対し 3 パターンずつのエージェント位置が全被験者で共通のものとして与えられ，これに 3D モデルを毎試行ランダムに割り当てることにより各密度水準の視覚刺激を形成した．



図-1 歩行者密度の各水準の提示例

b) 歩行目的

各密度水準に対して主観的混雑感および快ー不快感を評価するとき，被験者は以下 A,B のいずれか一方の歩行目的を想定して評価を行なった．なお歩行目的として想定させた以下のシナリオは，いずれも移動行動に焦点を当てながら，派生的需要と本源的需要の違いを表現した．

A（通過条件）：

あなたは一人でこの広場を急いで通り過ぎようと思っています．なお，気候はちょうどよく，荷物はほとんど持っていません．

B（回遊条件）：

あなたは一人でこの広場をゆっくり散歩しようと思っています．なお，気候はちょうどよく，荷物はほとんど持っていません．

(4) 実験条件

a) エージェント配置エリア

各密度水準を表現するためのエージェントを配置するエリアは，VR 空間内の面積 4000m^2 の正方形範囲とした．実験では，歩行者密度の知覚が各被験者の見方に左右されないよう対応するエリアの面積を明確にする必要があったため，エリアの四方に壁（高さ 3m）を設置することで境界を示した．

b) 広場空間

エージェント配置エリア内外の広場空間は，他のオブジェクト等を配置せず何もない空間とした．すなわち被験者が体験した VR の広場空間は，エージェント（歩行者の 3D モデル），エージェント配置エリア境界を表す不透過性の白い壁（高さ 3m），石材舗装による路面，および上空再現のみで構成された．

c) 視点位置

被験者が VR による広場空間を閲覧するときの視点位置は，エージェント配置エリアの中心部とし，実際の各被験者の目の高さに一致する位置（ただし 5cm 刻みで設定）とした．被験者は HMD のヘッドトラッキングにより，この視点位置から自由に全方向を閲覧できた．

なお今回の実験では，VR 空間内の見通し確保のため被験者の視点位置から 1.2m の同心円内 [11]にはエージェントを配置しない設定とした．これは，低密度水準で偶然にエージェントが視点位置近傍に配置され，極端なパーソナルスペース [12]の侵害が発生しないようにするという意図も兼ねている．しかしながら視点位置近傍のエージェントを排除することで，高密度水準では視点位置近傍の局所密度が広場全体の密度水準に対応していない状態となった．一般に混雑は，空間全体の密度の程度に応じた他者の近接と，それに伴うパーソナルスペースの侵害を伴う体験であると考えられるため，この本研究の設定は現実の混雑体験を再現しているとはいえない．そのため本実験で扱うものは，あくまで極端なパーソナルスペース侵害の影響を排除した状況下での，空間内の歩行者密度に対する主観的混雑感および快－不快感である．すなわち，現実の混雑体験を形成する要因の一つとして，自分自身の近傍の影響を除いた空間全体の歩行者密度の影響を対象としている点に注意が必要である．

d) 歩行者の 3D モデル

エージェントの 3D モデルには，Epic Games の配布アセットにある 3D の静止モデル [13]から，広場空間という状況に対して違和感のないものを 53 種類（男性：30／女性：23）選定した．エージェント位置に対する 3D モデルの割り当ては基本的にランダムとしたが，有限な 3D モデルの種数に伴う状況の不自然さを軽減する目的で，同一の 3D モデルが 3m 以内の近傍に配置されないようにする制約を加えた．

エージェントの 3D モデルは，多人種かつ多様な年代の成人で構成され，服装については季節感が様々であった．選定した 3D モデルは，1 モデルにつき 1 人で構成されるものに限定し，混雑した状況下であまり想定されないような大きい荷物や乗り物を伴うモデルは使用しなかった．

(4) 手順

a) 事前準備

まず被験者が到着したら，手指の消毒・体温計測とあわせて口頭で体調が良好であることを確認し，インフォームドコンセントを得た．その後，被験者の目線高さと瞳孔間距離を計測し，HMD の瞳孔間距離の設定をあらかじめ調整した（ただし Oculus Rift S[8]の場合のみ測定値を使用し，Meta Quest2[9]のレンズ距離は被験者の自己報告に基づき必要な場合のみ調整した）．続いて，被験者に実験機器の紹介と注意事項・緊急時対応の説明を行ない，1 つ目の実験（本研究の前に実施された異なる趣旨の VR 実験）の説明・練習・本番の試行・アンケートに取り組んだ．

b) 説明

休憩をはさんだ後，本研究の実験内容について資料を用いて説明した．具体的には，コントローラの操作方法，スライダー（Visual Analogue Scale: VAS の入力用インターフェース）による評価方法，試行の流れ，想定する歩行目的，注意事項についてであった．被験者からの質問を受け付け，不明な点がないことを確認したら，HMD とコントローラの装着に移った．

c) 個別設定・教示

HMD を装着すると，まず ID の入力画面が表示され，被験者は指示された番号を入力した．次に目線高さ調節のための身長計が VR 空間に提示され，目の前に見える数字が，被験者の実際の目線高さと一致するように実験者が調整した．これらの設定が終わると説明画面に移り，被験者はコントローラ操作によるスライダーの使用方法（線分上でつまみを左右に動かす）をあらかじめ試すことで理解した．続いて被験者は実験の所要時間と小休憩についての案内を再度確認し，画面上のボタンを押して試行を開始した．

d) 試行

試行では，まず 15 秒間いずれかの密度水準の広場空間が VR で提示され，被験者は頭や身体の向きを変えながら広場全体を自由に眺めた．その後自動で空間が切り替わり，画面のある閉鎖空間に移ったら，被験者は画面上にある主観的混雑感と快－不快感評価用の 2 つのスライダーをコントローラ操作することでそれぞれの評価値を入力した．このときの評価画面には簡易的な表現による歩行目的の内容と，あまり深く考えすぎずに感じた通

り答えるよう指示する文章が記載された．なおスライダーによる入力は，画面上の決定ボタンを押して次の試行に進むまで何度でも修正することができた．この広場空間の閲覧とスライダーによる評価をあわせて 1 試行として，被験者は全 33 試行に取り組んだ．11 試行ごとに 2 分ほどの小休憩があり，被験者は HMD を外して目を休めることができた．全試行が終了すると，被験者は実験者の指示に従って HMD とコントローラを外した．

e) アンケート

全試行終了後，新型コロナウイルス感染症の想起に関する独自のアンケートと Simulator Sickness Questionnaire（SSQ）日本語版 [14,15]を手渡し，それぞれ全項目を記入するよう指示した．なお，これらは実験中の新型コロナウイルス感染症の想起度合いや VR による酔いの程度が，比較を行なう 2 群間で大きな差がないことを確かめるために使用された．

これらのアンケート用紙を回収したら実験のすべての工程が終了したことを伝え，同意書の控えを手渡して被験者は退出した．実験者はデータが問題なく取得できていることを確認し，装置の消毒および次の被験者の実験準備を行なった．

5. 結果

(1) 主観的混雑感

各密度水準に対する歩行目的ごとの主観的混雑感の評価結果は，**図-2** のようになった．**図-2** から，歩行目的の両条件において密度が増加するにしたがって評価が空いているから混んでいるへと単調に変化する傾向がみられた．また歩行目的に関する条件間の比較として，通過／回遊条件における評価値の推移をみると，ほとんど差がない結果となった．

Greenhouse-Geisser のεによる補正を適用した 2 要因分散分析を実施した結果，密度の主効果が有意となった（$\mathrm{F}(10,180) = 432.49, \mathrm{p} = 0.000, \varepsilon = 0.3277$）．一方，歩行目的の主効果（$\mathrm{F}(1,18) = 1.59, \mathrm{p} = 0.223$）および交互作用（$\mathrm{F}(10,180) = 0.64, \mathrm{p} = 0.608, \varepsilon = 0.3277$）は有意ではなかった．また下位検定として，密度に対し改良版 Bonferroni の多重比較を行なうと，全水準間で有意差が確認された（$\mathrm{p} < 0.05$）．

したがって，密度の主効果が有意であるとともに全水準間の有意差が確認できたことから，密度の増加に応じて空いているから混んでいるへと評価が単調に推移することが示された．

なお主観的混雑感の評価値は，密度の対数に対しておおよその比例関係（通過条件：$y = 0.33\ \log_{10} x + 0.90$, $R^2 = 0.90$／回遊条件：$y = 0.32\ \log_{10} x + 0.91$, $R^2 = 0.92$）がみられたことから，今回の結果には Weber–Fechner の法則（ヒトの心理的な感覚量が刺激強度の対数に比例する）が当てはまることが示唆された．

(2) 快－不快感

各密度水準に対する歩行目的ごとの快－不快感の主観評価結果は，**図-3** のようになった．**図-3** から，歩行目的の両条件において密度が増加するにしたがって評価が快から不快へとおおよそ単調に変化する傾向がみられた（ただし，回遊条件の低密度範囲については評価値がほぼ一定となった）．また歩行目的に関する条件間の比較として，通過／回遊条件における評価値の推移をみると，大小関係が低密度範囲と高密度範囲で逆転していることが確認された．すなわち条件間の差として，低密度範囲では通過条件のほうが回遊条件よりも快評価が高く（快－不快感のスコアで通過＞回遊），高密度範囲では通過条件のほうが回遊条件よりも不快評価が高い（快－不快感のスコアで通過＜回遊）結果となった．

Greenhouse-Geisser のεによる補正を適用した 2 要因分散分析を実施した結果，密度の主効果（$\mathrm{F}(10,180) = 145.19, \mathrm{p} = 0.000, \varepsilon = 0.2880$）および密度と歩行目的

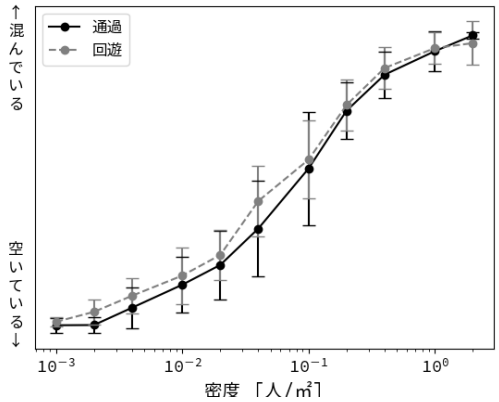


図-2 主観的混雑感の評価結果

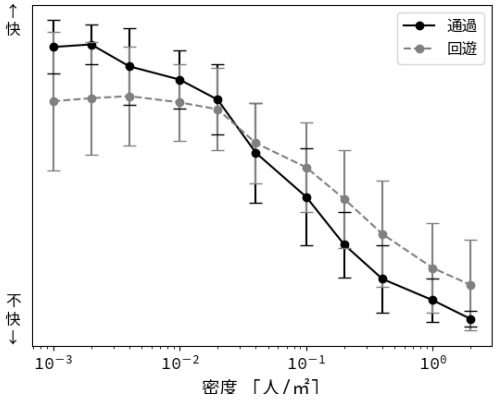


図-3 快－不快感の評価結果

の交互作用（$F(10,180) = 6.73, p = 0.001, \varepsilon = 0.2880$）が有意となった．一方，歩行目的の主効果は有意でなかった（$F(1,18) = 0.04, p = 0.852$）．下位検定として，密度の主効果における各水準間の比較として修正 Bonferroni の多重比較を行なうと，低密度範囲の 0.001, 0.002, 0.004, 0.01, 0.02 人/m^2 の 5 水準内の組み合わせを除くすべての水準間で有意差が確認された（$p < 0.05$）．一方，密度×歩行目的の交互作用に対する単純主効果の検定では，密度の単純主効果が，通過条件（$F(10, 90) = 151.82, p = 0.000, \varepsilon = 0.2850$）・回遊条件（$F(10, 90) = 36.44, p = 0.000, \varepsilon = 0.2251$）のいずれにおいても有意となった．また歩行目的の単純主効果については，通過／回遊条件間の差が密度水準 0.001, 0.002, 0.2, 0.4, 2 人/m^2 において有意（$p < 0.05$）かつ 1 人/m^2 において有意傾向（$p < 0.10$）となった．

したがって，密度の主効果が有意であるとともに低密度 5 水準間以外のすべての水準間で有意差がみられたことから，低密度範囲を除いておおよそ密度の増加に応じて評価が快から不快へと単調に推移することが示された．また密度と歩行目的の交互作用が有意であり，歩行目的の単純主効果として低密度範囲（0.001, 0.002 人/m^2）で通過条件のほうが回遊条件よりも快－不快感のスコアが有意に高く，高密度範囲（0.2, 0.4, 1, 2 人/m^2）で通過条件のほうが回遊条件よりも快－不快感のスコアが有意に低いことから，低密度範囲で通過条件がより快で回遊条件がより不快であり，高密度範囲で通過条件がより不快で回遊条件がより快の評価となることが明らかとなった．

また快－不快感の評価値に対して歩行目的（通過／回遊）ごとの回帰直線を求めると，通過条件と比べて回遊条件で傾きが小さくなることから，密度の増加に伴った快から不快への評価の推移は通過条件よりも回遊条件で変動幅が小さいことが示された（通過条件：$y = -0.32 \log_{10} x + 0.11$, $R^2 = 0.88$ ／回遊条件：$y = -0.21 \log_{10} x + 0.27$, $R^2 = 0.62$）．

6. 考察

本研究における仮説は以下の通りであった．

① 想定する歩行目的によって歩行者密度に対する主観的混雑感の評価が異なる

② 想定する歩行目的によって歩行者密度に対する快－不快感の評価が異なる

①について，歩行者密度に対する主観的混雑感の評価は，想定する歩行目的によって明快な差は生じないという結果となった．通過／回遊のいずれの歩行目的においても，密度の増加に伴い主観的混雑感の評価値は増加する傾向がみられ，密度の対数に対しておおよそ比例関係を示した．歩行目的によらず Weber-Fechner の法則に従うという結果は，歩行者の数を刺激強度としたときに一対一で対応する心理的な感覚量として今回の主観的混雑感の評価がなされている可能性が考えられる．よって今回の評価結果は，個人の置かれている状況等にも依存するクラウディング [8]の体験とは区別されるものが得られていることが推察される．

②について，歩行者密度に対する快－不快感の評価は，想定する歩行目的に応じて有意に異なるという結果となった．通過／回遊の条件間で密度水準に対する評価の推移傾向に違いがあり，密度変化に対して通過条件で評価値の変動がより大きく，回遊条件で評価値の変動がより小さかったことから，通過目的の場合は空間の密度に対する感度が高く，回遊目的の場合は比較的空間の密度に対する感度が低いことが明らかとなった．また低密度範囲では通過条件で快の程度が相対的に高く，高密度範囲では通過条件で不快の程度が相対的に高いという結果から，通過目的の場合は混んでいる状況に対する不快，空いている状況に対する快の程度が相対的に大きいことが示された．他方，回遊目的の場合は混んでいる状況に対する不快も空いている状況に対する快も程度が比較的強くないことがわかり，同一の歩行者密度に対しても歩行目的に応じて快－不快感の覚え方が異なることが示唆された．

なお，回遊条件では線形回帰の決定係数がやや低く，密度に対する快－不快感の推移が線形では十分に説明できないことが示唆されている．**図-3** をみると，回遊条件の場合は上に凸のゆるやかな曲線を描いており，高密度範囲では快から不快への単調な推移であるのに対し，低密度範囲ではほぼ横ばいとなっていることがわかる．この低密度範囲の推移に関する解釈として，各被験者による評価を個別にみると，通過条件と同様に全体を通じて快から不快へと単調な推移を示す被験者と，密度が高すぎても低すぎても評価が不快になり中程度の密度水準で快の評価にピークをもつ推移を示す被験者が存在しており，この後者の評価傾向の存在が低密度範囲の横ばいの傾向が生じる原因となったことが推察される．この中程度の密度でピークを示す評価傾向について，回遊条件による評価を実施した被験者のアンケートの記述に，空きすぎていても少し不安を感じたという旨の記述がみられ，このような感覚を有する一定数の被験者が密度に対して逆U字の快－不快感評価を行なったと考えられる．なお回遊条件における高密度範囲における傾向は，通過目的の場合と比べて回遊目的の場合に，高密度の状況に対する許容度が相対的に高い可能性を示すものといえる．

7. 本研究の限界

本実験における限界として，以下の項目が挙げられる．

・視点位置近傍の局所密度の設定
・動的な相互作用の欠落
・周辺環境の生態学的妥当性
・VR による現実環境再現の程度
・対象とした被験者数

まず本研究では，視点位置近傍の設定として歩行者を排除する領域を設けており，広場全体の密度水準と対応する局所密度となっていない状態で，広場全体の密度の影響について議論している．また混雑状況を静的な密度として再現していることから，現実における動的な人流の影響を踏まえた主観体験を扱うことができていない．現実における混雑状況では，ある移動方向や速度をもった近傍の歩行者との相互作用によって自身の移動行動に制限が生じることに伴う快ー不快感への影響が存在する．この点に関して，本研究の検証はあくまで動的な側面を分離した場合の視覚的混雑体験を対象とするものであり，他者と相互作用しないような，これから向かう先にある混雑状況を少し離れたところから捉えた場合の主観体験に近い状態を扱っているといえる．混雑が特定の快ー不快感を生じさせるメカニズムとして，静的な側面と動的な側面をどのように組み合わせて議論することが可能かという点については，今後さらなる検討が必要である．

続いて，本研究ではアプローチとして VR を実験に使用しており，ここで得られた知見がどの程度現実の体験と一致しているかということも慎重に議論されなければならない．理想的には，混雑体験の検証をまったく同じ条件で現実空間と VR 空間で比較して検討することが望ましい．また，本研究ではできるだけ周辺環境再現によるバイアスを排除した状況における検証を行なうという目的で必要最低限の要素により構成された単純な空間としたが，これは現実の都市空間ではほとんどあり得ない設定である．そのため，本研究の知見がどれだけ現実の都市空間の混雑体験と一貫性があるかは必ずしも自明ではない．本研究は，周辺環境のパターンによるバイアスを可能な限り排除した状況における，歩行者密度への主観評価を明らかにすることを目指した検証となっている．最後に，限られた被験者数で分析していることに伴い，結果の不確実性が存在している．

これらの限界を踏まえた上で，本研究の結果を他の研究による知見とあわせて解釈することで，現実の混雑体験への理解を進めることが可能となる．不足している検討事項については，今後の課題としたい．

8. まとめ

本研究では，段階的な歩行者密度に対する異なる歩行目的に応じた主観的混雑感および快ー不快感の差について，没入型 VR を用いた実験により検証を行なった．結果から，少なくとも非常に単純化した空間内において，混雑に対する快ー不快感は急いで通過しようとしている状況とゆっくり散歩しようとしている状況とでは評価傾向が異なることが明らかになった．急いで通過しようとしている状況と比べて，ゆっくり散歩しようとしている状況では混雑度合いに対する感度が低く，高密度状況への不快および低密度状況への快が相対的に小さかった．このことを踏まえると，公共的な広場の設計・活用を考える際に，例えば通過目的の人流と回遊目的の人流をうまく分離するようデザインし，それぞれ対応するエリアを通過目的側でより空いているように，回遊目的側でより混んでいるように容量を調整することで，機能的な側面からより快適に過ごすことができる空間を実現することができる可能性がある．

今後の展開としては，歩行目的に応じた快ー不快感の違いを，動的な人流を対象に検証することが考えられる．近傍の歩行者との相互作用が生じる場合について，周囲の歩行者が自分自身と同じ歩行目的であり行動パターンが類似している状況や，違う歩行目的であり行動パターンが異なる状況，または多様な行動パターンが混在している状況を各歩行目的の視点で体験した場合などで，それぞれ快ー不快感の覚え方が異なる可能性が高い．このように，歩行目的に応じた感じ方の差異に関する知見を積み重ねることで，極めて複雑な現実の混雑体験への理解に近づくことができる．

参考文献

1) Fruin, J. J. : Pedestrian planning and design, Elevator World Inc, 1971.
2) Jia, X., Feliciani, C., Murakami, H., Nagahama, A., Yanagisawa, D., and Nishinari, K. : Revisiting the level-of-service framework for pedestrian comfortability: velocity depicts more accurate perceived congestion than local density, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Vol.87, p.403-425, 2022.
3) Dickinson, P., Gerling, K., Hicks, K., Murray, J., Shearer, J., and Greenwood, J. : Virtual reality crowd simulation: effects of agent density on user experience and behaviour, Virtual Reality, Vol.23, p.19‑32, 2019.
4) Stokols, D. : A social-psychological model of human crowding phenomena, Journal of the American Institute of Planners, Vol.38, No.2, p.72-83, 1972.

5) Nouri, P.：Desirable pedestrian density, Master's Thesis, Concordia University, 2011.
6) Golding, J. F.：Predicting individual differences in motion sickness susceptibility by questionnaire, Personality and Individual Differences, Vol.41, No.2, p.237-248, 2006.
7) R.ギフォード（羽生和紀・槙究・村松陸雄監訳）：環境心理学（上）－原理と実践－， 第 7 章クラウディング，pp.259-316，北大路書房，2005.
8) Meta, “Oculus Rift S”, https://www.oculus.com/rift-s/ (2023.6.27).
9) Meta, “Meta Quest 2”, https://www.meta.com/jp/quest/products/quest-2/ (2023.06.27).
10) Epic Games, “Unreal Engine 5”, https://www.unrealengine.com/en-US/unreal-engine-5 (2023.06.27).
11) エドワード.T.ホール（日高敏隆・佐藤信行訳）：かくれた次元，みすず書房，1970.
12) R.ギフォード（羽生和紀・槙究・村松陸雄監訳）：環境心理学（上）－原理と実践－， 第 5 章パーソナルスペース，pp.181-223，北大路書房，2005.
13) Epic Games, “Twinmotion Posed Humans 1”, https://www.unrealengine.com/marketplace/en-US/product/twinmotion-posed-humans (2023.06.27).
14) Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., and Lilienthal, M. G.：Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness, International Journal of Aviation Psychology, 1993.
15) 平柳：乗り物酔い (動揺病) 研究の現状と今後の展望, 人間工学, vol.42, No.3，p.200-211，2006.

(????. ??. ?? 受付)

INFLUENCE OF WALKING PURPOSE ON EVALUATING CONGESTED SPACES: AN EXPERIMENT USING IMMERSIVE VIRTUAL REALITY

Kana KIKUCHI, Takayoshi YOSHIMURA, Keiko UEMURA and Takashi MACHIDA

In order to have a pedestrian space comfortable for everyone, it is important to understand the differences in people’s way of feeling about various congested situations , depending on the purpose of their visit. In this study, we conducted an experiment using immersive virtual reality to verify the degree of pleasantness and unpleasantness for pedestrian density in a plaza space, according to the purpose of walking: transit or stroll.The results showed that there were differences in the evaluation trends of pleasantness and unpleasantness for pedestrian density depending on the purpose of walking. In the purpose of stroll, the degree of pleasantness was lower in the low-density situations and the degree of unpleasantness was lower in the high-density situations than in the purpose of passage. This suggests that even under the same congested situations, people feel pleasantness or unpleasantness differently depending on the purpose of walking. Therefore, especially in plaza-type pedestrian spaces where congestion is expected, it is possible to have places more comfortable by separating walking areas depending on visitors’ purposes and designing the capacity so that the transit areas is more vacant than the stroll areas.