都市鉄道駅空間における旅客快適性評価システムの適用範囲の拡大検討

福田　有希 [1]

[1] 正会員　社会システム株式会社　社会経済部（〒150-0013 東京都渋谷区恵比寿 1-20-22）
E-mail:y_fukuda@crp.co.jp

我が国の都市鉄道駅では，朝夕のラッシュ時を中心に著しい混雑が生じている．
筆者らは，旅客流動解析と空間的評価は別段階で行うべきという考えのもと，高密度，速度低下，動線交錯に着目した駅空間における旅客の快適性評価システムを開発しており，プラットホームや乗換コンコース階での評価を実施している．先行研究ではピーク時間帯の鉄道駅におけるケーススタディであったため，今後はオフピーク時間帯等の様々な属性が混在した空間での適用性の可能性を確認する必要がある。
そこで本研究の目的は，開発した評価システムをもとに，商業街路空間への本評価システムの適用や通行者と買い物者などの異なる属性が混在時の評価分析をおこなうことである．分析の結果，店舗立寄者の混在割合が増加すると，空間的ストレス値の平均値，標準偏差値が大きくなる傾向となった．

Key Words: *railway stations, moving passengers' stress, pedestrian simulation, pedestrian density, speed reduction, interweaving*

1. はじめに

わが国の都市鉄道駅における朝夕のラッシュ時間帯では，多くの乗降客による著しい混雑がプラットホーム，コンコース，改札等で生じている．一方で，ラッシュ時間帯以外のオフピーク時間帯については，子ども連れ客やスーツケース使用者，車いす使用者など，様々な属性の利用客が存在しており，朝夕のラッシュ時間帯ほど旅客はいないものの，様々な属性間の混在により滞留や交錯等が生じている．このように，都市鉄道駅においては，一日を通して混雑や交錯が各所で発生しており，旅客の快適性を欠く空間になっていることが考えられる．このような状況が発生する要因の一つに，鉄道駅の空間設計段階において，詳細な旅客流動特性が考慮できていないことがある．そのため，開業・改良直後の駅であっても，ホームや改札階に旅客が滞留する等，旅客にとって快適な利用空間が阻害されているのみならず，駅空間の管理・運用に顕著な不具合が生じていることが少なくない．したがって，駅空間の設計段階で，旅客の快適性や流動特性を勘案した駅空間の評価を実施することが必要であると考える．

また，駅空間が旅客にとって快適な空間であることの重要性は認知されてきたが，実務レベルでの快適性評価システムが普及しておらず，駅空間の設計検討段階における旅客の快適性を評価することが難しい状況にある．一方で，歩行者シミュレーションを用いた事前検討を実施する事業者が存在するが，各社で任意に実施されているものであり，事前検討において十分な快適性評価が実現できているとは言えない．実務レベルでの設計段階における旅客快適性評価システムの導入を見据え，評価システムを試作することが必要である．

筆者ら [1)2)7)] は，鉄道駅の空間設計における旅客の快適性を評価することを目的に，歩行者密度，速度低下，動線交錯の 3 つの指標を用いた評価システムを試作し，プラットホーム及び乗換コンコースでの適用と開発した評価指標の基本特性の分析をおこなった．しかし，先行研究では，通勤ラッシュ時の鉄道駅空間を対象とした分析にとどまっている．そこで本研究の目的は，通行客と買い物立ち寄り客が混在した空間について空間評価を実施し，買い物立ち寄り客の混在割合が変化した際に空間に与える影響を分析することである．なお，本研究で開発する評価システムでの開発条件は，企業で用いられる一般的な PC を用いることで簡易に評価できることとする．

2. 旅客空間快適性評価システムの開発

本研究では筆者ら [1,2)] が試作した旅客の快適性評価システムを用いて，新指標の開発と追加分析をおこなう．本章ではベースとなる評価システムの概要を示す．

(1) 対象とする旅客のストレス

旅客が感じるストレスは，混雑等の外的要因であるものから，旅客自身の健康状態等の内的要因であるものまで多様である．それら要因が互いに作用することで，旅客にストレスを与え，旅客はその空間が快適であるか否かを判断する．そのため空間評価には，様々なストレスを評価する必要がある．しかし，旅客の心理状況を計測するための調査を行うことは，費用や時間が膨大であるため本研究の目的とは一致しない．そこで本研究では，旅客の快適性に重要な項目であり，かつ比較的評価が簡便な 3 つの旅客のストレスに着目し，駅空間の快適性の評価を行う．

a) 高密度に伴うストレス

松島ら [4]は，混雑時等に歩行者量が多い場合にはストレスが上昇することを示している．また，日本の鉄道事業者における空間設計においては，歩行者密度の基準化は行われていない [3]ものの，駅施設設計検討段階でシミュレーションに取り入れる事業者が存在するなど，実務レベルでの認識度は概ね高い．なお，歩行者空間を評価する際には，フルーインのサービスレベル [5]が世界的に広く用いられている．

b) 速度低下に伴うストレス

一般的に，旅客は目的にはやく到達することを望んでいる．歩行者はそれぞれ歩きたい速度（希望歩行速度）を持っていると仮定した場合，滞留や障害物により生じる速度低下が大きくなるほどストレスを感じると考える．

c) 他者との動線交錯に伴うストレス

井料ら [6]は，歩行者間が交錯する際は，回避行動をとることを強いられることから，歩行者の移動負荷は大きくなると指摘している．それより歩行者は，他者との交錯が全くない場合と比較して，他者との交錯があるほどストレスを感じると考える．

(2) 対象快適性（ストレス度）評価の 3 指標の導入

前節で列挙した 3 つのストレスを評価するにあたり，指標の定式化を行った．なお，本研究における改良に伴い，動線交錯度の定義を変更した．

a) 高密度に伴うストレス

あるセクション S，ある時刻 T（=t+Δt）における歩行者密度〔人/m²〕を算出する．本研究では，フルーインの歩行者密度（待ち空間）の指標を適用する（**表-2**）．

b) 速度低下に伴うストレス

あるセクション S 内の個人 i の希望歩行速度 V_d と実際の歩行速度 V_a を用いて，あるセクション S，ある時刻 T（=t+Δt）における速度低下度（式(1)）を算出する．

$$\text{速度低下度 } R(S,T) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} r_i \qquad \text{式(1)}$$

$$r_i = 1 - \frac{V_{ia}}{V_{id}}$$

n：セクション S 内の人数

V_a：実際の歩行速度〔km/h〕

V_d：希望歩行速度〔km/h〕

c) 他者との動線交錯に伴うストレス

先行研究 [1)2)]において，他者との動線交錯角度（$0< \theta <180°$）が大きいほどストレスが高くなるという考え方で，定式化をおこなった．後続研究 [7)]では，他者との交差角度が 90 度のときのストレスが最大となるような定式を開発した．90 度でストレス最大となる新・動線交錯度 M2 を考案した経緯としては，180 度，つまり真正面からの交錯は，相手を認識できるといった点においては衝突の可能性は比較的低く，安全が担保されていないことへのストレスは少ないことが懸念されると考えたためである．空間の特性に応じて 2 つの動線交錯度 M1（180 度ストレス最大），M2（90 度ストレス最大）を使い分ける必要があると考える．

動線交錯度は，歩行者の方向ベクトルを用いて，あるセクション S 内の各人の他者との動線交錯角度の平均値を示す．ある歩行者 i の方向ベクトルをベースに，他者 j の方向ベクトルとの角度差を計算する．

$$\text{旧・動線交錯度 } M1(S,T) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \frac{1 - \cos\theta_{ij}}{2} \qquad \text{式(2)}$$

$$\text{新・動線交錯度 } M2(S,T) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \sin\theta_{ij} \qquad \text{式(3)}$$

n：セクション S 内の人数

θ_{ij}：歩行者 i と他者 j 間の交差角度（$0< \theta <180°$）

(3) 快適性評価システムの構成

表-1 に評価システムの構成，**表-2** に快適性評価システムの入出力データを示す．評価システムは，2 つのサブシステムから構成され，前半部分は既存の歩行者シミュレータ（Viswalk）を用いて，歩行者シミュレーションを実施し，旅客流動結果を出力する．旅客流動結果を算出する際は，あらかじめ対象セクションを設置する必要がある．また後半のサブシステム 2 では，サブシステム 1 で得られた旅客流動結果を用い，3 つの評価指標について計算を行う．各計算結果は箇所別に表示させることにより評価マップを作成し，視覚的な評価を行うものである．

なお，評価マップ作成用システムは，実施する構造に

表-1　快適性評価システムの構成

サブシステム１：現在の旅客流動シミュレーションの実施
➢ 歩行者シミュレーションを実行するシミュレータには，ドイツ・PTV 社「Viswalk」を使用する．Viswalk では，ソーシャルフォースモデルに基づき，より現実的な歩行挙動を表現することが可能である． ➢ 現地調査結果を基に，旅客の歩行者パラメータを調整し，現在の歩行者挙動を再現する．Viswalk には，7 点の歩行者モデルパラメータがあり，主に歩行者同士の間隔に大きく寄与するパラメータをファインチューニングする． ➢ シミュレーション結果として，各歩行者別の所要時間や移動距離，歩行速度等のデータが得られる．
サブシステム２：駅空間おける快適性評価の実施【新規開発】
入力データ：サブシステム 1 で得られた旅客流動結果（各歩行者別の所要時間[s]や移動距離[m]，実歩行速度ベクトル[km/h]等） ➢ 定式化した 3 指標について，それぞれ計算をおこなう．

表-2　快適性評価システムの入力データと出力データ

入力データ	**1)　駅空間の構造データ** 階層別の平面図（ホーム，昇降施設の他に加え，待合室やホームドアなどの駅設備についても記載しているものが望ましい）や断面図（階層間の高低差情報） **2)　時刻表データ** 列車の開閉時刻の設定，乗降客の発生時刻の設定に用いる．秒単位まで記載されているものが望ましい．時刻表など秒単位までの情報がない場合は任意で設定する．なお，シミュレーションの際には，任意の時刻を基準としたシミュレーションタイムで実行する． **3)　旅客の駅内 OD 交通量** 列車～出入口間の一列車単位別の OD 交通量．通勤客，旅行客等，属性別に作成する． **4)　旅客の行動特性** 属性別の希望歩行速度，男女比等を設定する．
出力データ	**1)　駅構内の旅客流動** 三次元表示の歩行者シミュレーション映像 **2)　駅構内の箇所別の旅客のストレス指標** 3 つのストレス指標を視覚的に表示した結果

変更が生じる場合は，適宜評価マップ作成用システムを修正する必要がある．このように開発した評価システムでは，可能な限り自動化をさせているが，自動化が難しい部分については手動による作業で対応することで評価結果の出力を行った．Viswalk と Excel の操作経験がある者であれば，難なく評価システムを使用し空間評価をすることができることを確認済みである [1]．

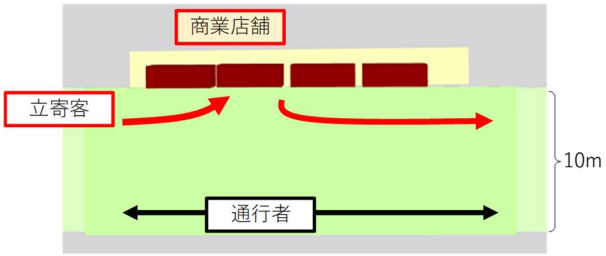


図-1　モデルケース（商業街路）の構造イメージ

表-3　属性別設定

	通行者	店舗立寄者
男女比	6：4	5：5
歩行速度	3.7～6.0km／h	3.0～4.2km／h

表-4　ケース設定（属性別混在割合）

	通行者	店舗立寄者
ケース１	90%	10%
ケース２	80%	20%

3.　前提条件

評価対象は，商業街路（**図-1** の黄緑部分）とし，1 セクションの面積は 1m×1m の正方形と設定し，評価セクション数は約 350 セクションである．また，時刻 T（=t＋Δt）の設定は 30 秒である．評価対象時間は 10 分間とした．**図-1** に，商業街路の構造を示す．街路の幅員は 10m とした．

商業街路空間に通行・滞在する属性について，**表-3** に示す。本研究では，通行者と店舗立ち寄り者の２つの属性を混在させた。通行者は通勤者を想定しており，また店舗立寄者は，ウインドウショッピングをすることを想定し，歩行速度については通勤者よりも遅い設定とした。

本件研究では，異なる属性の割合によって空間評価結果に与える影響が異なると仮定し，街路を通行する全体需要は一定とし，通行者と店舗立寄者の混在割合を２パターンで分析を行った．（**表-4**）

4.　評価結果

図-2 に，ケース別３指標の評価結果（評価マップ）を，**図-3** にケース間の平均値と標準偏差の比較結果を示す．なお，評価マップは最混雑時 30 秒間の平均を示す．

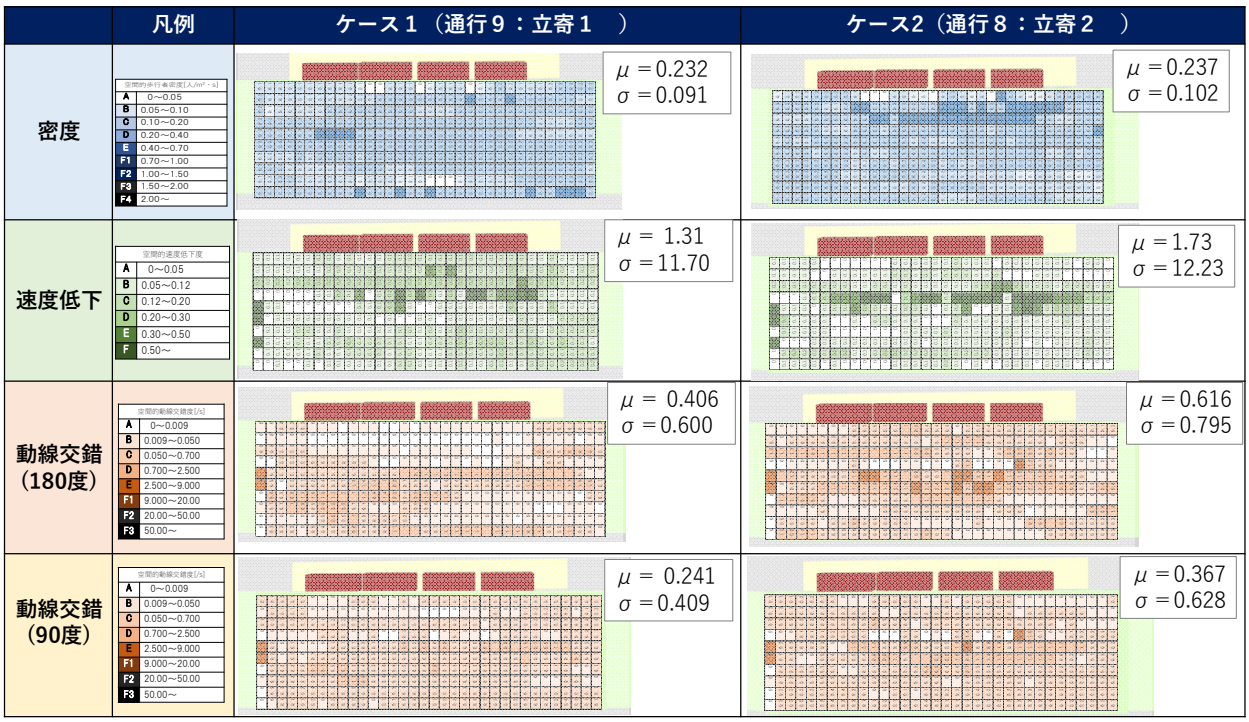


図-2　≪評価マップ≫属性混在時の空間評価結果の比較（ある 30 秒間の平均）

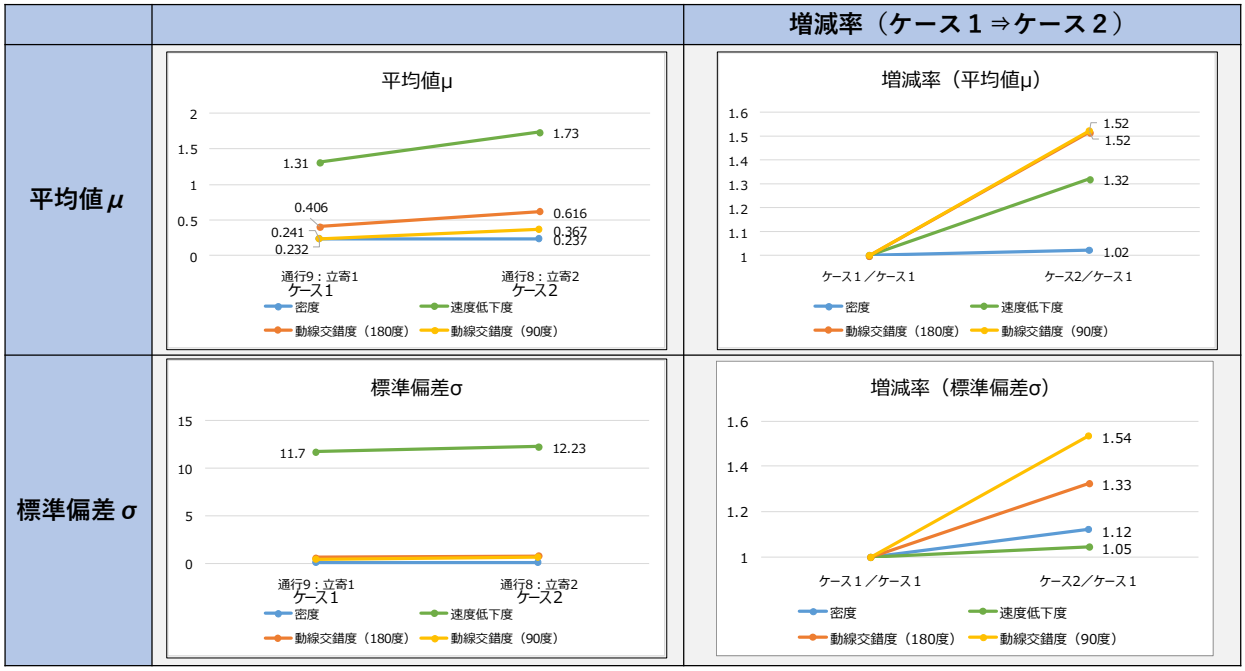


図-3　平均と偏差のケース間比較

評価マップ（図-2）結果より，密度・速度低下度ともに，ケース２（店舗立寄割合 20%）について，店舗前の並び部分でのストレス値が高くなっていることがわかる。これは，立寄客の割合が増加することで，店舗前に発生する行列が増えたことが要因と考えられる．一方，動線交錯度については，通路中央部の部分でのストレス値が高くなっていることがわかる．これは，店舗に立ち寄りたい客が，通行客の動きを遮って店舗に向かうことが要因と考えられる．

ケース間比較（図-3）右列より，平均値，標準偏差ともにケース２（店舗立寄割合 20%）の方が高くなっていることがわかる．右下の標準偏差の増減率をみると，動線交錯＞歩行者密度＞速度低下度の順でばらつきが大きくなっていることがわかる．

4. おわりに

本研究では，先行研究において開発した評価システムと評価結果をもとに，異なる属性が混在した場合の評価をおこなった。通行者に対して，歩行速度が遅い速度店舗立寄客を混在させ，その割合が増加するにしたがって空間全体のストレス値が増加し，ばらつきも大きくなる傾向を示した.

参考文献

1) Yuki Fukuda and Hitoshi Ieda, Developing A Spatial Assessment System of Moving Passengers' Stress in Railway Stations: A View of Distancing, Speed Fluctuation, and Interweaving, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2021.
2) 福田有希・家田 仁：都市鉄道駅の空間設計における旅客の快適性評価システムのプロトタイプの開発―乗換コンコースへの適用―，土木計画学研究・講演集，Vol.64, 2021.
3) 山本航介・家田 仁：都市鉄道における旅客施設の容量設計基準類とその運用に関する国際比較～ベースとなる計画思想と将来のあり方～，土木計画学研究・講演集，Vol.60, 2019.
4) 松島 一剛，長澤 夏子，渡辺 仁史：駅構内通路歩行時における混雑によるストレスを緩和・軽減させる空間デザインに関する研究，日本建築学会関東支部研究報告集，No.80, pp225-228, 2010.
5) John J. Fruin: Pedestrian Planning and Design, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, 1971.
6) 井料美帆，長島愛：歩行者交差交通流の性能評価に関する研究，生産研究，Vol.67, No.4, pp.369-373, 2015.
7) 福田有希：都市鉄道駅の空間設計における旅客の快適性評価システムの改良および適用，土木計画学研究・講演集，Vol.66, 2022.

(2023. 10 13 受付)

APPLICATION OF A SPATIAL ASSESSMENT SYSTEM OF MOVING PASSESGERS' STRESS IN RAILWAY STATIONS

Yuki FUKUDA

Key Words: *railway stations, moving passengers' stress, pedestrian simulation, pedestrian density, speed reduction, interweaving*