

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—

福田 有希¹・家田 仁²

¹正会員 社会システム株式会社 社会経済部 (〒151-0015 東京都渋谷区恵比寿 1-20-22)
E-mail:y_fukuda@crp.co.jp

²フェロー会員 政策研究大学院大学 特別教授 (〒106-8677 東京都港区六本木 7-22-1)
E-mail:ieda@grips.ac.jp

日本の都市鉄道駅では、ラッシュ時を中心に著しい混雑が生じている。混雑緩和を目的とした駅施設の改良が実施されることもあるが、駅空間の設計段階で詳細な旅客流動が考慮されていないことから、改良直後の駅でもホームや改札階に旅客が滞留する等、駅空間の管理・運用に不具合が生じることがある。また、駅空間の設計段階で、旅客の快適性が十分に評価されていない。本研究の目的は、筆者らが開発した駅空間の旅客快適性評価システムのプロトタイプを乗換コンコース階に適用することと評価指標の基本特性を把握することである。3つのストレス指標を用いて評価することにより、それぞれの指標における課題は個々に発生していることを示し、歩行者密度に加えて、速度低下度と動線交錯度についても評価を行うことの重要性を示唆した。

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

1. はじめに

(1) 本研究の背景と目的

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 は、鉄道駅の空間設計における旅客の快適性評価システムを試作したが、プラットホームの一部での適用と動作確認に留まっている。そこで本研究の目的は、開発した快適性評価システムのコンコース階への適用と開発した評価指標の基本特性を把握することである。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。将来的には、実務レベルで開発した

旅客快適性評価システムに適用し、鉄道駅等の空間設計時の支援ツールや鉄道駅の空間設計の基準類の再検討時に活用することを見据えるものとする。

(2) 本研究の構成

本研究の構成は、第 1 部「評価指標の基本特性の把握」、第 2 部「開発した評価システムの性能確認」の 2 部構成である。第 1 部では、先行研究¹⁾で試作した評価システム内の 3 つの評価指標の基本的な特性を把握することを目的に、需要・幅員を変数としたモデルケース 1 (直交通路) での評価を実施する。また、第 2 部では、評価システム (プロトタイプ) を用いたモデルケース 2 (乗換コンコース) における評価を実施し、評価システムの性能確認を行う。

2. 既往研究と本研究の位置づけ

(1) 既往研究のレビュー

山本ら²⁾は、国内外の各鉄道事業者が都市鉄道旅客施設の設計に使用する基準類及び技術的な考えを比較している。日本の鉄道駅の設計基準は、旅客を安全に流動させることを主な目標とし、昇降施設容量などの安全上最小限の基準しか有していないこと、また、通勤地獄時代と呼ばれる 1970 年代に設定した基準類を未だに用いていることを指摘している。一方、米国や英国では、日本のような安全上最小限の基準に加え、プラットホームにおける歩行者密度が一定以下となることを目標とする設計基準を持ち、旅客の快適性が確保された望ましい空間設計であることが設計思想に取り入れられていることを指摘しており、両者の設計思想には大きな違いがあることを主張している。山本らの研究における課題として、今後は日本においても旅客の快適性を設計思想に取り入れていくべきと考え、都市鉄道駅の旅客流動を適切に予測し、旅客の快適性を評価できるシステムを構築することに加え、その評価システムを用いて、駅空間設計のあり方や駅空間において注意すべき要所などを明確化することの必要性が述べられている。

日比野ら³⁾や山下ら⁴⁾は、歩行者挙動を考慮した駅整備の必要性について指摘しており、近年では事前検討として歩行者シミュレーションを実施する鉄道事業者も存在する。しかしながら、事前検討の実施は任意性が高く、また検討内容も駅構内の歩行者密度や昇降施設の処理容量の確認程度に留まっており、歩行者密度以外の旅客快適性評価を事前検討に取り入れている事例は、筆者が把握している範囲でほとんどない。また長谷ら⁵⁾は、歩行者シミュレーションの導入事例において、歩行者の見通し・死角や歩行障害物の形状・寸法等の要因が不足して

いることを指摘している。

具体的な鉄道や歩行空間における歩行者の快適性評価として、石田ら⁶⁾や鈴木ら⁷⁾は、心拍変動データを用いて列車内や街路における歩行者のストレス量を評価しており、混雑状況や街路の整備状況により歩行者に与えるストレス量が異なることを示している。しかしながらこのような実験は被験者の確保の難しさ等の観点から、実験の域に留まっており、実務における実施は現実的でないといえる。

(2) 本研究の位置づけ

以上より、実際の歩行者挙動や旅客の快適性を踏まえた駅空間の必要性が指摘され続けている^{3,4,11-12)}が、現在でも実務の旅客快適性評価は普及していない。それを受け、筆者ら⁸⁾は、駅空間の設計段階で旅客の快適性を組み込む必要性を指摘している山本ら²⁾の研究を先行研究と位置づけ、実務レベルでの旅客の快適性評価の導入を見据えた鉄道駅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を行った。高密度、速度低下、動線交錯の 3 つの旅客のストレスに着目し、実在する都市鉄道駅を模したプラットホームにおける旅客快適性評価を行った。3 つの指標を用いて評価を行うことで、駅空間内において異なる課題がそれぞれ別の箇所でも発生する可能性を示し、歩行者密度に加えて、新たに提案した速度低下度や動線交錯度についても確認を行う重要性を示唆した。しかし、その評価対象はプラットホームの一部のみの適用とシステムの動作確認に留まっている。

プラットホームは、電車を乗り降りする人が集中するエリアであり、列車到着前後は列車扉付近で乗車客と降車客の部分的な交錯が発生するが、基本的な目的地は、降車客は改札または乗換コンコース、乗車客は列車であるなど、見当がつきやすい。一方で近年は、駅構内に商業店舗を設置する駅が増えており、そのような空間では、店舗利用者や通路通過客など様々な属性が存在し、経由地や目的地が様々であるほか、店舗利用者による滞留や店舗利用者と通勤客等の商業エリアを通過する者との交錯が発生する。乗換コンコース等の乗換動線上に店舗が設置されている場合は、これらのような現象が顕著に発生すると考えられる。試作した評価システムは歩行者密度の他に、速度低下と動線交錯を併用して評価することが特徴である。よって、速度低下と駅利用者の交錯が発生しやすい乗換コンコースに適用する必要があると考えられる。

そこで本研究では、筆者らが開発した旅客快適性評価システムを用い、駅コンコース階への適用を行うほか、開発した評価指標の基本特性の把握を行う。

3. 旅客空間快適性評価システムの開発

本研究では筆者ら⁹⁾が試作した旅客の快適性評価システムを用いて、評価指標の基本特性の把握と駅コンコースへの適用を行う。本章では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、かつ比較的评价が簡便な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⁸⁾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²⁾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⁹⁾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¹⁰⁾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。

以上を踏まえ、速度低下に伴うストレスと他者との動線交錯に伴うストレスについては、少なくとも筆者が把握している範囲では、実務レベルで評価に取り入れている事例はない。一方、既往研究¹⁰⁾ではこれらのストレスが駅空間の旅客の快適性に影響があることが示されている。以上より、本研究では上記3点の項目を旅客のストレスとして着目をし、駅空間の評価を行う。

(2) 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、

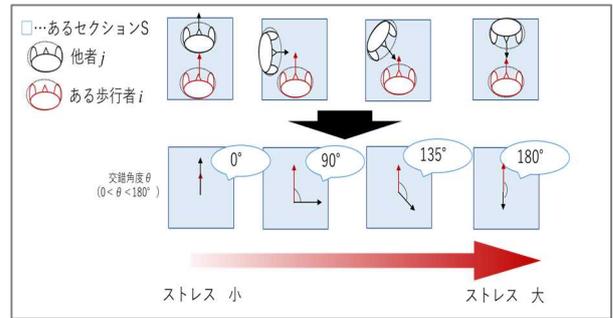


図-1 本研究における他者との動線交錯に伴うストレスの考え方

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	
<ul style="list-style-type: none"> 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: 駅空間に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）	
<ul style="list-style-type: none"> 3.(2)で定式化した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

指標の定式化を行った。

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。

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

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

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

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。図-1 に示すとおり, 他者との交差角度が大きくなればなるほどストレスが大きくなるという考え方を基に, 動線交錯度 M (式(2)) と交錯 1 回あたりの動線交錯度 M' (式(3)) を設定する。動線交錯度 M はセクション S 内の動線交錯の総量を表す。一方で動線交錯度 M' は, 動線交錯度 M について対象セクション S 内に存在する人数で除したものであり, 1 回の交錯の質を表す指標である。

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

交錯 1 回あたりの動線交錯度 M'(S, T)

$$M'(S, T) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{1 - \cos \theta_{ij}}{2} \quad \text{式(3)}$$

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 < θ < 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

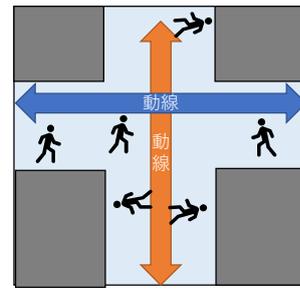


図-2 モデルケース 1 (直交通路) における評価空間のイメージ

表-3 モデルケース 1 (直交通路) における需要パターン及び構造パターン

変数	内容	パターン
変数 1	幅員	2m, 3m, 4m, 5m
変数 2	需要	基本, 基本の 3/4, 基本の 1/2, 基本の 1/4

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⁾。

4. 快適性評価指標の基本特性の分析

先行研究¹⁾で定式化した速度低下度と動線交錯度を含む 3 つの評価指標の基本特性を把握することを目的に, 需要・幅員を変数としたモデルケース 1 (直交通路) での評価を実施した。

(1) モデルケース 1 (直交通路) の設定

評価空間は図-2 に示すような直交通路を想定し, 水平方向, 垂直方向を歩行者が往来するものとする。その通路の幅員を変数 1, 往来する歩行者の需要量を変数 2 と設定し (表-3), 各ケース間の結果を比較した。また, 水平方向・垂直方向を往来する歩行者数の比率は 1:1 とした。なお, 評価対象は通路部分 (図-2 の青色部分) とし, 1 セクションは 1m² (1m×1m の正方形) とした。な

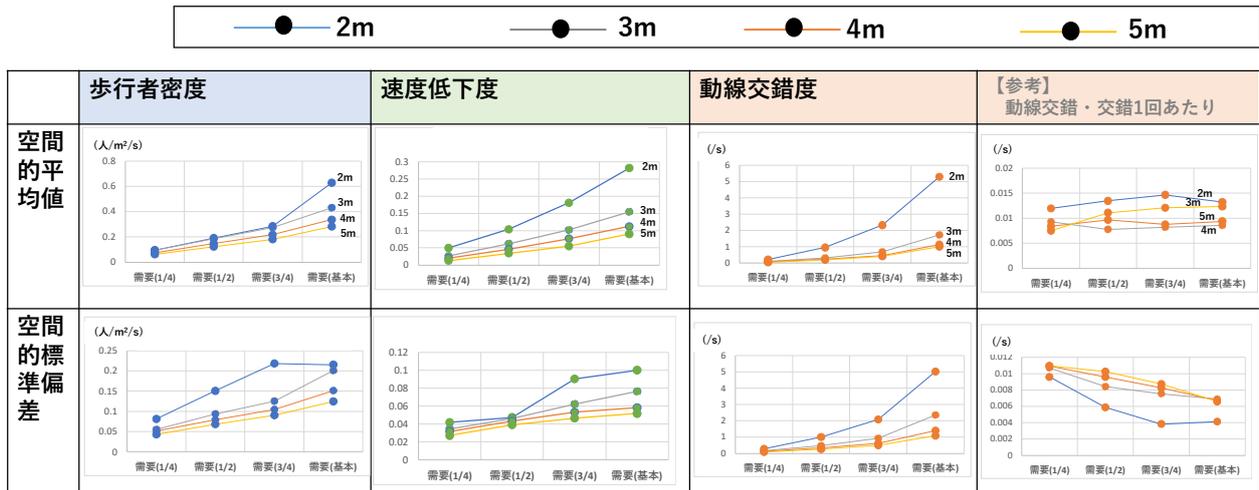


図3 ≪モデルケース1 (直交通路)≫ 需要別・幅員別の各ストレス指標の比較

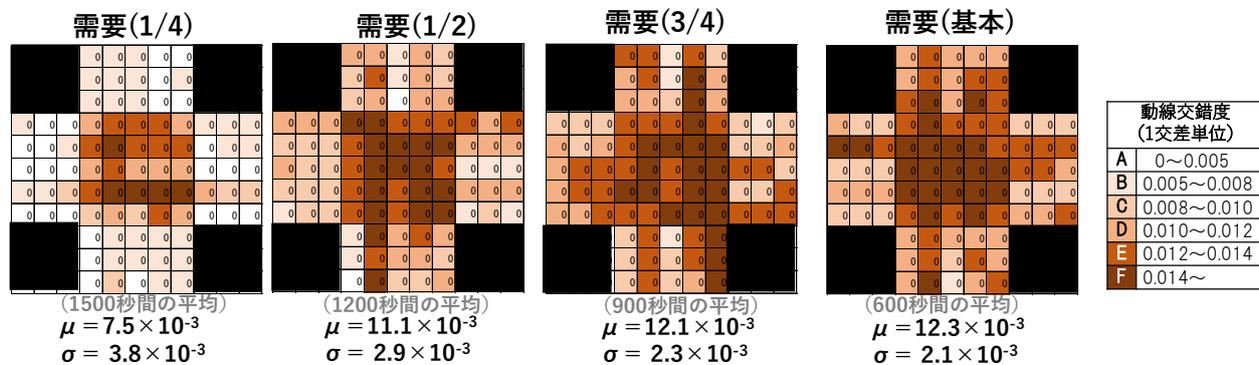


図4 ≪モデルケース1 (直交通路)≫ 交差1回あたりの動線交錯度の需要間比較

お、モデルケース 1 (直交通路) における時刻 T (=t+Δt) の設定は 30 秒である。

(2) 評価結果の分析

図-3 は幅員 5m における各指標の空間的平均値と空間的標準偏差について、横軸に需要パターン、縦軸に各指標の数値をとり、幅員パターン別に示したものである。3 指標について、需要が大きくなるにつれて、空間的平均値と空間的標準偏差は高くなる傾向が確認でき、幅員別にみると非線形的に上昇することが確認できた。これは、空間における歩行者数 (密度) とストレス値には比例関係にあり、特に幅員が 2m のケースでは、各ストレス値が急激に上昇することを示している。また、図-3 の一番右の列は、交錯 1 回あたりの動線交錯度の平均値と標準偏差を示している。交錯 1 回あたりの動線交錯度は交錯の質を表している。そのため、交錯 1 回あたりの動線交錯度の平均値では、需要・幅員の大小にかかわらずほぼ同値を示している。一方、標準偏差では、需要が大きくなるほど標準偏差が小さくなる傾向を示した。図-4 は幅員 5m における、セクション別の交錯 1 回あたりの動線交錯度結果を視覚化したものである。なお、需要の

大小にかかわらず、同一人数を評価対象とするために、平均時間を調整している。図-4 より、需要が低くなると、交錯 1 回あたりの動線交錯度の値のバラつきが大きくなることが見て取れる。このように、動線交錯については複雑な現象であり、交錯の質については探求の余地があるため、引き続きの分析が必要である。

5. 評価システム (プロトタイプ) の性能確認

先行研究¹⁾では、某都市鉄道駅の朝ピーク時のプラットフォームをモデルとした空間評価を行った。ピーク時のプラットフォームでは、全体的に旅客集中による滞留や交錯発生し、特に昇降施設付近で顕著な値を示した。本章では開発した評価システム²⁾を用い、実在する都市鉄道空間を模したモデルケース 2 (乗換コンコース) で評価を実施することで、開発した評価システムの性能を確認する。

(1) 設定条件

乗換コンコース階では、プラットフォームほどの列車到

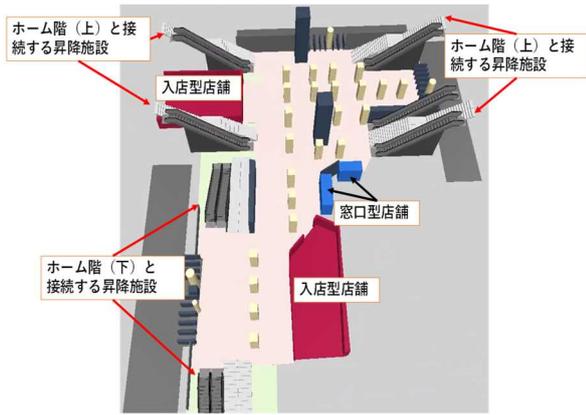


図5 モデルケース 2 (乗換コンコース) の構造イメージ

表4 モデルケース 2 (乗換コンコース) の旅客の希望歩行速度の設定

	希望歩行速度	男女構成比
男性	4.0~5.8km/h	70%
女性	4.0~4.8km/h	30%

表5 モデルケース 2 (乗換コンコース) における OD 設定

No.	内容
1	地元降車客 (各ホーム⇒各改札)
2	地元乗車客 (各改札⇒各ホーム)
3	乗換客 (各ホーム⇔各ホーム)
4	買い物客 (全乗降・乗換客のうち、5%が店舗に立ち寄り設定)

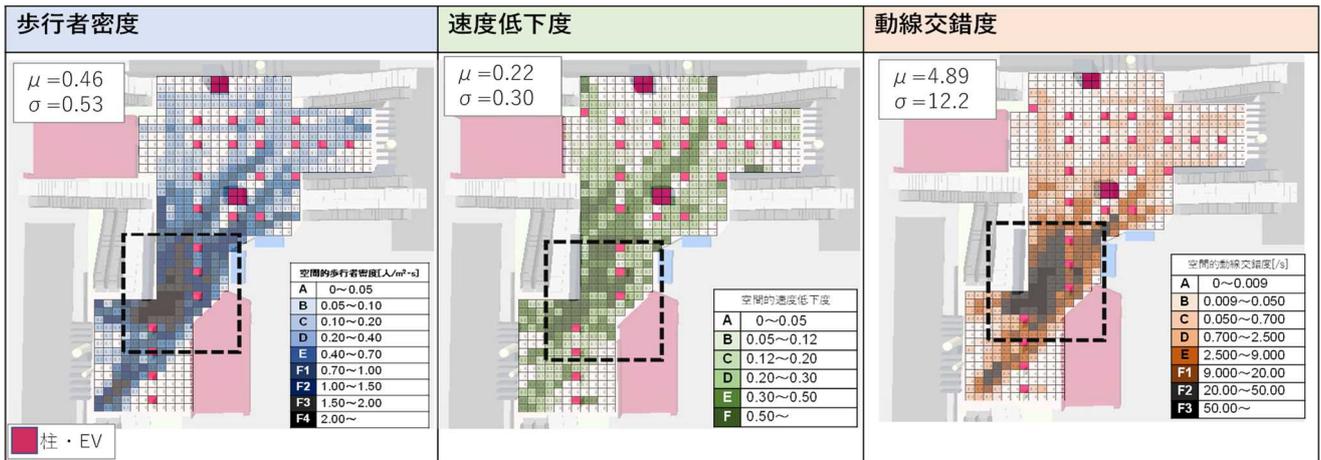


図6 《モデルケース 2 (乗換コンコース) ・現況ケース》評価マップ (最混雑時 30 秒間の平均)

着時間に依存した激しい混雑は発生しないものの、駅施設や商業施設の影響や様々な属性の歩行者の存在によって、速度低下や動線交錯が生じ、プラットフォームとは異なる現象が発生することが考えられる。そのため、乗換コンコース階をモデルケース 2 (乗換コンコース) に設定し、空間評価を行う。3 指標でそれぞれの課題が発生しやすい駅を選定するため、複数路線が乗り入れ、かつ、コンコース内に商業エリアを含む某都市鉄道駅 (以下、C 駅) の構造をモデルケース 2 (乗換コンコース) に選定した。C 駅では、乗降人員が多く、コンコース階において乗換による交錯が発生する。また、コンコース内に商業エリアが含まれることによって、店舗立ち寄り客と通行客との交錯や速度低下等が発生する。そのような C 駅の特徴を踏まえ、モデルケース 2 (乗換コンコース) は、3 路線が乗り入れる駅 (コンコース内での乗換が発生) とし、コンコース内に商業店舗を 4 店設置した。なお、コンコース内に設置した店舗は次の 2 種類とした。1 つ目は、買い物客が入店せずに、通路上の店頭に行列を成し、商品の選択や会計を行うもの (以下、「窓口型店舗」) である。狭隘スペースにおける売店や駅弁売店が該当する。2 つ目は、買い物客が店舗の中に進入し、

商品の選択から会計までを店舗内で行うもの (以下、「入店型店舗」) である。小型コンビニエンスストアや小型スーパーマーケット等が該当する。C 駅における 4 店舗の内訳は、窓口型店舗を 2 店舗、入店型店舗を 2 店舗とした。

モデルケース 2 (乗換コンコース) における評価対象は、コンコース階 (図5 の薄ピンク部分) 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 600 セクションである。また、シミュレーション上の旅客の希望歩行速度の設定は、表4 に示すとおりである。時刻 T (≡t+Δt) の設定は 30 秒である。評価対象時間はタピーク 1 時間とした。夕方を対象時間とした理由は、C 駅において顕著な混雑と交錯に関する課題が発生する時間帯がタピーク時であること、また商業店舗がすべて開店している時間帯であることの 2 点である。OD 作成にあたり、H27 大都市交通センサス「ターミナル別乗換人員表」を参考に作成し、列車別改札別 OD を作成した。表5 に OD 属性を示す。なお、タピーク 1 時間は朝ピーク 1 時間の需要と同等であると仮定し、1 時間分の乗降人員を列車本数で按分した。

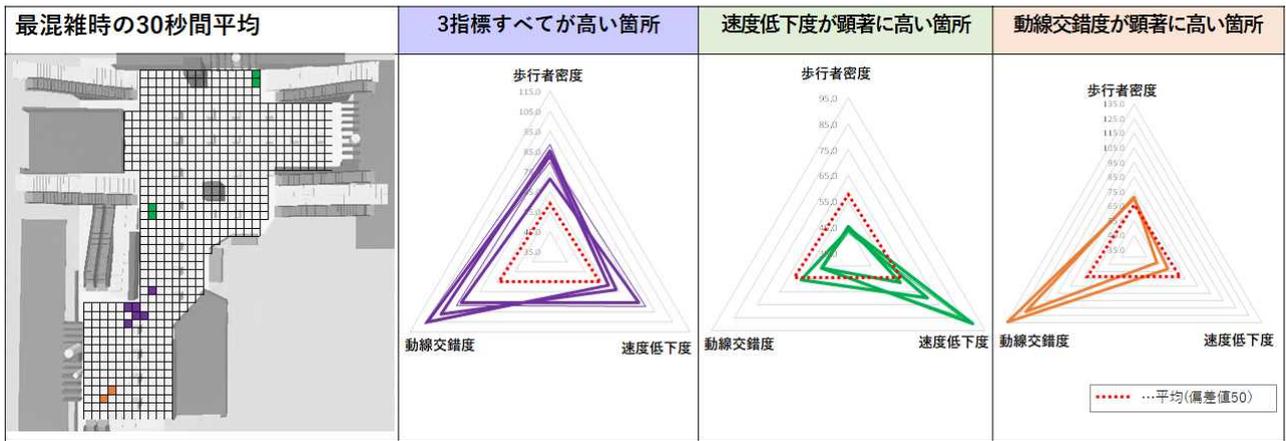


図-7 《モデルケース 2 (乗換コンコース)・現況ケース》各指標の値が顕著に高い箇所 (最混雑時 30 秒間の平均)

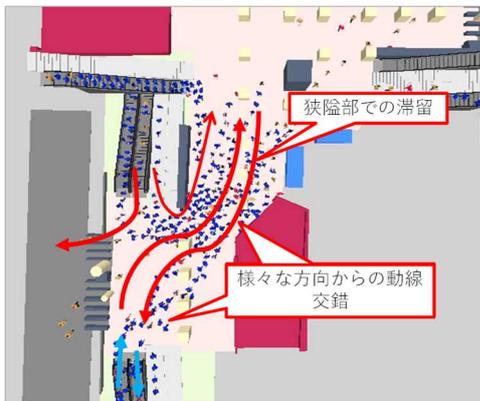


図-8 《モデルケース 2》現況構造における課題発生箇所

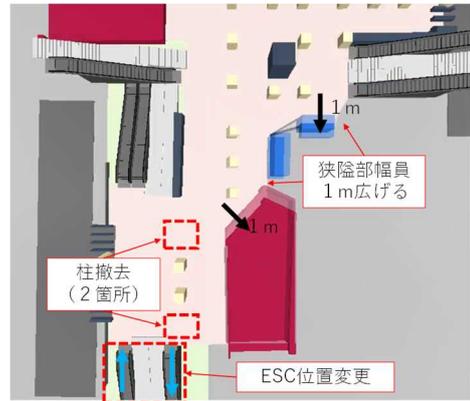


図-9 《モデルケース 2》改良ケースにおける変更箇所

(2) 評価結果の分析

モデルケース 2 (乗換コンコース) における現況の評価結果を図-6 に評価マップとして示す。(以下、モデルケース 2 (乗換コンコース) の現況の結果を「現況ケース」とする。) 評価マップは最混雑時 30 秒間の平均を示す。3 指標ともに中心部の点線枠内で高い値を示していることが分かる。点線枠部分は、店舗によって通路幅員が一部減少した狭隘部となっている。また、この点線枠内はコンコースの 1 階層下のホームから上がってきた乗降客と図-6 の上部から下部へと向かう乗降客が入り乱れる箇所となっている。図-6 の結果は、現地での観測結果と概ね合致しているものと判断した。

上記を踏まえ、プラットフォームと乗換コンコースをモデルケースに設定し、評価システムの一連の作業を実行することでその操作性を確認した。評価システムより出力された評価結果は、概ね現地調査での旅客流動状況を表現できているものであると考える。これより、評価システムの性能には問題はないものとする。

(3) 評価指標間の関係性分析

続いて、モデルケース 2 (乗換コンコース) で出力された現況ケースの 3 指標による評価結果の関係について

分析を行った。図-6 の結果より、一見 3 指標の結果は相関性が高いようにも感じられる。そこで、セクション別の指標間の関係を分析することで、どのような箇所でも速度低下度や動線交錯度が高くなるかを確認した。図-7 は、最混雑時の 30 秒間における 3 指標の結果について、偏差値をとり、三角レーダーチャート図で示し、3 指標すべてが顕著に高い箇所、速度低下度が顕著に高い箇所、動線交錯度が顕著に高い箇所を抽出したものである。図-7 の左部分には、地図上に該当箇所を色別に示したものである。これより、3 指標がすべて高い箇所 (紫) は、狭隘部の昇降施設付近、速度低下度が顕著に高い箇所 (緑) は、コンコースの右上部と中央左部のコンコース階の 1 階層上のホームと接続する昇降施設前部分、線交錯度が顕著に高い箇所 (オレンジ) は、コンコースの左下部のコンコース階の 1 階層下のホームと接続する昇降施設付近で発生しており、それぞれの箇所は異なった。これより、歩行者密度のみの評価では、速度低下と動線交錯による問題箇所を発見することが難しく、歩行者密度だけでなく、速度低下度や動線交錯度についても確認する重要性が示唆された。

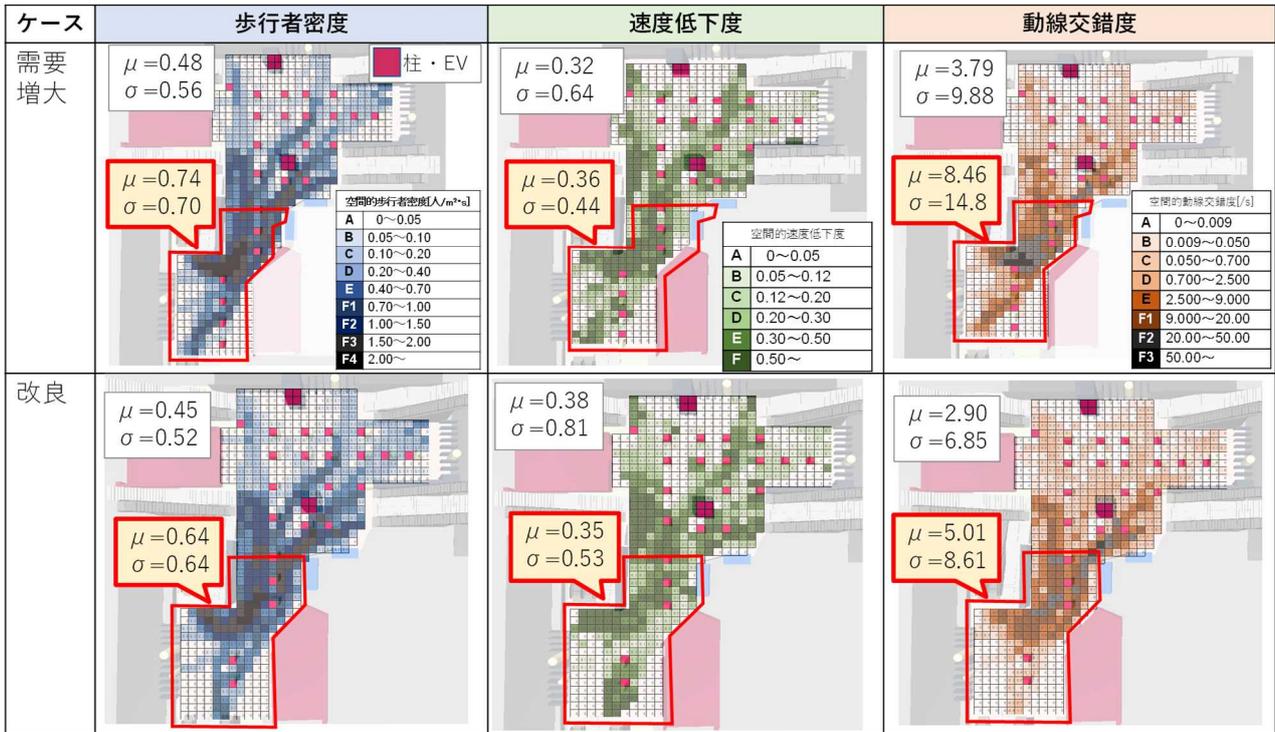


図-10 ≪モデルケース2 需要増大ケース（上）・改良ケース（下）≫評価マップ（最混雑時30秒間の平均）

(4) 仮想改良ケースによる効果の把握

モデルケース 2（乗換コンコース）において、需要変数及び構造変数を変更した仮想実験を行う。仮想実験では、次の 2 ケースを比較する。1 つ目は現況ケースと構造は現況から変更せず、全体需要の 10%増加させたケース（以下、「需要増大ケース」）、2 つ目は需要増大ケースと同需要で構造を一部変更し、現況構造における課題の削減を見込んだケース（以下、「改良ケース」）である。現況構造における課題の発生箇所を図-8 に示す。

図-8 で 3 指標すべての値が高かった通路狭隘部付近と動線交錯度が顕著に高かった、図の下部の下層ホームと接続する昇降施設付近で発生する様々な方向からの動線交錯が課題であった。これら課題を軽減すべく、改良ケースでは次の 3 点の構造変更を行った。1 点目は店舗をセットバックによる狭隘部の幅員の拡張（1m）、2 点目は交錯が発生しやすい狭隘部付近と昇降施設付近の柱を 2 箇所撤去、3 点目は現況構造で動線交錯度が高い値を示した ESC を移設である。（図-9）

需要増大ケースと改良ケースの評価結果（最混雑時 30 秒間）を図-10 に示す。赤枠内の数値は、改良ケースで変更した箇所のみを比較すると、改良ケースにおける平均値は、すべて需要増大ケースを下回り、構造改良による改善効果が確認できた。

以上より、現状の構造で旅客流動における課題が発生し、かつ改良が必要な駅や箇所において開発した評価システムを用いた事前評価を行うことで、概略設計時など

の構造検討の際の支援となる可能性が示唆された。

6. 結論及び今後の課題

(1) 結論

本研究では、先行研究で試作した駅空間の旅客快適性評価システム用い、乗換コンコース階への適用と評価システム内で新たに開発した評価指標の基本特性の把握を行った。本研究における結論を以下に示す。

- 乗換コンコース階においても、3 つの指標を用いて評価を行うことで、駅空間内において異なる課題がそれぞれ別の箇所発生する可能性を示し、歩行者密度に加えて、本研究で提案した速度低下度や動線交錯度についても確認を行う重要性が示唆された。
- 評価システムで用いる 3 指標の基本特性を分析した。3 指標は需要密度に対しては非線形的に上昇する傾向をもつことを確認した。
- 開発した評価システム（プロトタイプ）の改良を継続することで、鉄道駅等の空間設計の事前検討に活用する、あるいは、駅空間等の設計基準類の再検討の際に有効な手段となることを期待される。

(2) 今後の継続検討課題

本研究における課題として以下のような事項が挙げられる。

- サブシステム 1 における旅客流動の再現性の継続検

討

本研究のケーススタディにおける現況再現は、歩行者密度が観測結果と整合する程度に留まっている。現地調査等を実施し、速度低下や動線交錯に関する再現性を確認の上、必要があれば再現性の精度を向上させる。また、実務上での導入を見据え、再現性の検証方法や検証レベルについても検討する。

b) サブシステム 2 における評価指標の妥当性の継続検討

評価で用いているストレスと実際の旅客のストレスとの関係性をアンケート調査やストレス測定調査等で検証をした上、必要であれば各ストレス指標の精度の向上させる。

謝辞: 本論文執筆にあたり、政策研究大学院大学の森地茂 名誉教授と日比野直彦 教授、東日本旅客鉄道株式会社の永井辰樹様と山本航介様には貴重なご助言をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

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) 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.
- 3) 日比野直彦, 山下良久, 内山久雄: 鉄道駅におけるモニターカメラから得られる歩行者挙動データの活用に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.22, No.3, pp.531-539, 2005.
- 4) 山下良久, 関口岳史, 内山久雄, 鉄道駅構内の歩行者空間における交差現象に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.23, pp.489-495, 2006.
- 5) 長谷篤, 日比野直彦, 森地 茂: 鉄道駅構内における歩行障害物と旅客流動に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol. 50, 2014.
- 6) 石田真二, 武田 超, 白川龍生, 鹿島 茂: 鉄道サービスにおけるストレス軽減効果の検証, 運輸政策研究, Vol.15, No.2, pp.010-019, 2012.
- 7) 鈴木庸介, 西尾尚子, 伊藤 史子: 都市部における心拍変動を用いた歩行時ストレスの評価方法の提案と適用, 都市計画論文集, Vol.54, No.3, pp. 811-817, 2019.
- 8) 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, pp.225-228, 2010.
- 9) John J. Fruin: Pedestrian Planning and Design, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, 1971.
- 10) 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.
- 11) 中村泰広, 日比野直彦, 森地 茂: 鉄道駅構内における混雑状況と旅客流動に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.67, No.5, I_705-I_713, 2011.
- 12) 高柳英明, 佐野友紀, 渡辺仁史: 群集交差流動における歩行領域確保に関する研究—歩行領域モデルを用いた解析—, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 549, pp.185-191, 2001.

(2021. 10. 1 受付)

DEVELOPING A SPATIAL ASSESSMENT SYSTEM OF MOVING PASSENGERS' STRESS IN RAILWAY STATIONS

Yuki FUKUDA and Hitoshi IEDA

Stations in urban areas of Japan have been heavily congested by commuters during rush hours. Railway companies are carrying out improvement work on station facilities to alleviate the congestion. However, there is a lack of detailed passenger flow studies when designing spaces in Japan, there are cases where problems occur in the management and operation of station space, such as congestion on platforms and ticket gate floors, even at the new stations.

In this study, focus on the stress on passengers (high density, speed reduction, and interweaving with other pedestrians), and develop a spatial assessment system of passengers' stress in railway stations.

By using three stress indicators, it is possible to identify the different problems occur in different places in the station. Therefore, it is suggested that it is important to assess not only the pedestrian density but also the speed reduction and interweaving with other pedestrians.

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