

駅構内の旅客流動シミュレーションモデルの基礎的研究*

Fundamental Research of Simulation Model for Pedestrian Flow in Railway Station*

末松孝司**・外井哲志***

By Takashi SUEMATSU**・Satoshi TOI***

1. 背景と目的

昨今、大都市圏における通勤電車の慢性的な混雑の緩和を目的に輸送力の増強、駅施設の拡充（バリアフリー施策に伴うエスカレータ設置等）が図られている。その計画に伴う駅施設の設計、評価では、旅客流動を断面的な処理、局所的な処理で対処されているのが実状である。

従来の算定式（東三工式、地下鉄建設ハンドブック等）を活用した評価手法では混雑状況に応じた個々の旅客挙動が反映されておらず、また各通過ポイント間における混雑、滞留等による相関的影響が考慮されないために、安全性や効率性に関する正確な評価が不十分であった。

そこで、当研究では個々の旅客挙動をパソコンの画面上に再現し、駅構内での現象を仮想的に創り、施設や設備の設計に反映されるシステム構築を目的として行った。これまで、シミュレーションモデルを活用した旅客流動研究^{1)~4)}が一部で行われているが、以下に示す当モデルとの違いを考慮すると、当研究の成果により旅客流動の現実的な再現が可能になるとと思われる。

更に、現在シミュレーションは主に事前評価ツールとして活用されているが、今後は防災等を想定した施設保安・運営管理用としてデータベースと組み合わせることにより効果的な用途を提案していく。

また従来の平面的（2次元）な設計評価に加え、施設や設備、案内板の適正配置を歩行者の視野から評価する目的で、2次元の挙動軌跡データを簡易的に3次元変換することも試みた。

(当該シミュレーションモデルの特徴)

1	ばらつき、分散現象の再現 ・ 個々の旅客歩行速度の設定 ・ 追い越し挙動の設定
2	ODの設定 ・ 混雑状況に応じた経路変更
3	操作性 ・ 基本モジュールの組み合わせ

2. モデル構成

当シミュレーションモデルでは、該当施設エリアを平面的にメッシュに分割して、そのメッシュ上を人（パーツ）が移動する離散系モデル方式である。メッシュは大きさ（約0.25㎡：0.5m×0.5m）の基本空間⁷⁾とし、そこでは歩行者（パーツ）が持つ属性を判断し、以下の制御が行われる。

- ・ メッシュ属性は歩行可能スペース（平面、上下移動）、進入不可スペース（壁、柱）の2つ。
- ・ OD設定は発生地、中継ゾーン、収縮ゾーン、目的地（優先順位を持った複数候補）とする。
- ・ 移動決定時の次工程メッシュの選定要件は方向選択、状況把握、速度とする。

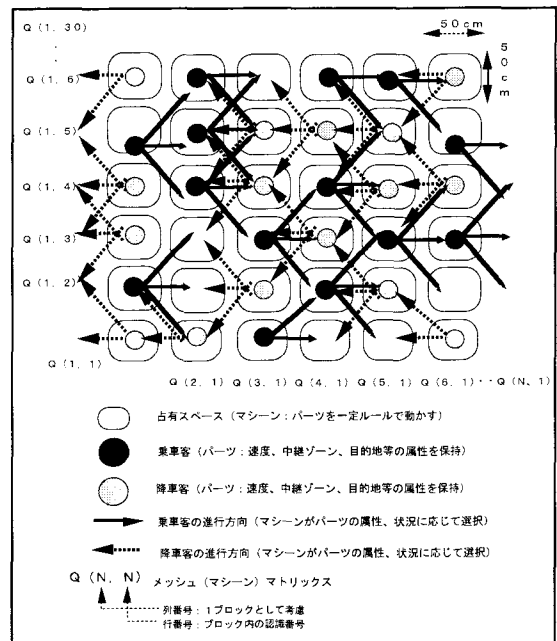


図-1 メッシュ構成説明図

*キーワード：歩行者交通計画、鉄道計画、空港計画

**正員、経営学修士、東急総合研究所

(東京都渋谷区道玄坂1-10-7)

TEL03-3464-6987, E-mail: takashi@trinc.co.jp

***正員、工博、九州大学大学院、工学研究院

(福岡市東区箱崎6-10-1)

TEL092-642-3277, E-mail: toi@doc.kyushu-u.ac.jp

3. 旅客挙動の制御ルール

(1) 移動空間に関する制御ルール

前述のメッシュ（移動空間）における制御ルールは以下の通りである。

- ・移動する基本単位は1メッシュとする。
（移動単位距離：50cm～70cm）
- ・歩行速度や混雑状況に関係なく、メッシュの大きさは一定（縦50cm×横50cm）とする。
- ・自由歩行状態と滞留状態での移動速度は、検証エリアにおける密度－速度分布に準ずる。
- ・設定に伴う密度は通常最大値で0.25（m²/人）とし、これ以下のメッシュ割りは考慮しない。
- ・進路変更、移動する際に検知する前方の範囲は、直前、左右前、左右の5メッシュとする。
- ・パーツの移動可能空間はケースにより多少異なるが、基本的に壁や柱、障害物から1メッシュ離れた領域を進入限界とする。⁹⁾
- ・壁、柱等の障害物には、メッシュ属性（0, 1）を付け、歩行制限を行う。
- ・基本的に進行方向に対し、後退はしない。
- ・水平路における交差流速は、交差角度に関係なく0.5（m/s）とする。

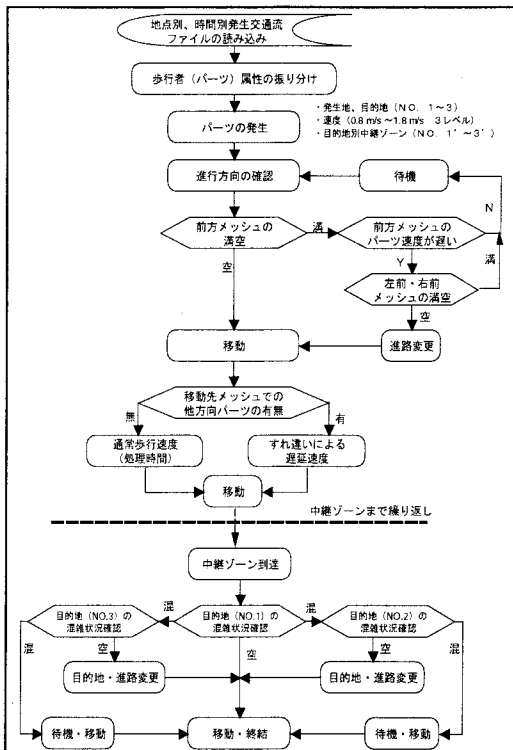


図-2 各旅客移動時の判断アルゴリズム

(2) 各旅客の歩行に関するルール

- ・設定時間に発生地Aから発生した歩行者（パーツ）は、優先順位の付いた目的地番号（複数）を認識して、各目的地の付随中継ゾーンに向かう。
- ・中継ゾーンに到着したパーツは、目的地（優先順位1）周辺の混雑状況を確認し、基準（サービスレベル、密度）を満たしていれば、進行。
- ・基準値以下であれば、目的地1に近い他の目的地（目的地2）の状況を目的地1の状況と比較し、目的地2の方が緩やかであれば中継ゾーン2'に向かう。

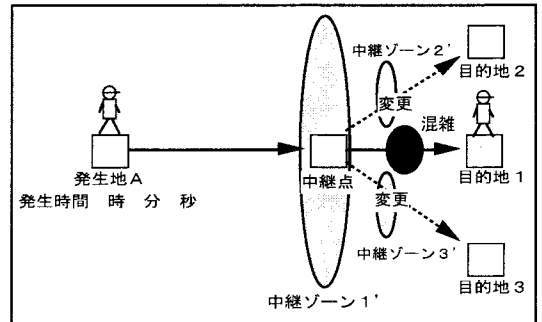


図-3 経路選択、変更説明図

- ・速度に関するルールとして、歩行速度のカテゴリーは以下のように分類する。尚、この構成比は変更可能とする。

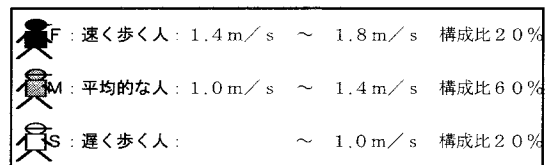
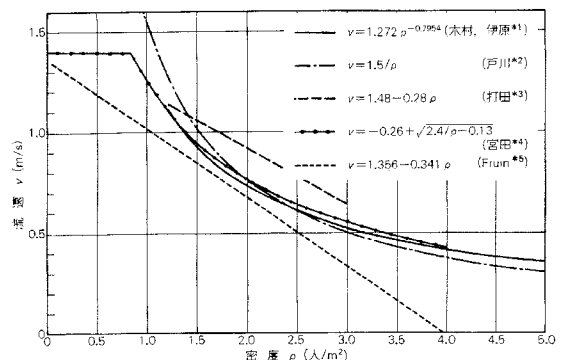


図-4 歩行速度カテゴリー

- ・以下に示す流速（m/s）－密度（m²/人）－流率（人／m・s）間の幾つかの経験則が既に研究されているが、当モデルではサービスレベルとの相関が的確に把握可能なFruin式¹⁰⁾を採用する。



建築設計資料集成 Vol. 3 (単位空間 I) pp.54より引用

図-5 空間密度 / 歩行速度グラフ

4. モデルの再現と精度検証

(1) 検証方法：実地調査

構築したシミュレーションの再現精度を検証するため、実地調査による計測数値とシミュレーションの出力結果との比較を行った。対象施設として東急東横線横浜駅下り線ホーム（上層階）とコンコース階（下層階）において夕方ピーク時を選定した。調査はビデオカメラを乗降車客の流れが見通せる4カ所（図-7&8：①～④）に固定設置し、後日画像再生し計測項目をカウント、表形式でまとめた。



図-6 調査地点の実況写真

(2) 評価パラメータ

評価項目として、電車の乗降客が通過・利用する施設、設備のサービス水準、処理能力を評価するというシミュレーションの活用目的の見地から①通過交通流率、②空間密度、③旅行時間、④捌き所要時間の4項目とした。

(3) 検証結果

以下の図-6～12に示す検証結果を得た。尚、図中（ ）は図-6 実況写真部を示す。

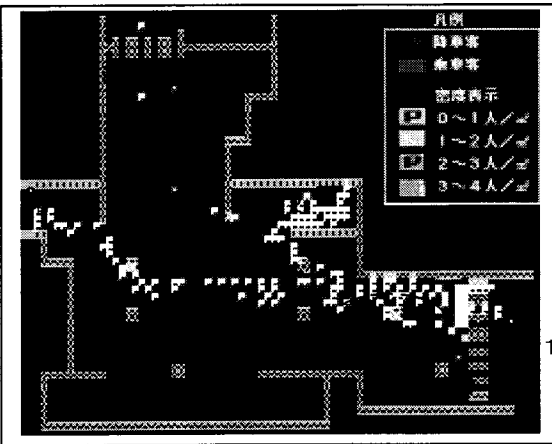


図-7 シミュレーション再現図（コンコース階）

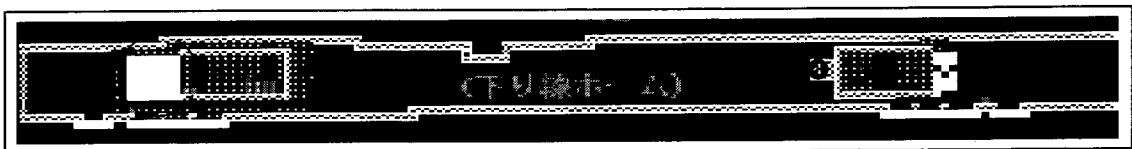


図-8 シミュレーション再現図（ホーム階：列車到着40秒経過）

評価項目1：通過交通流率（各検証地点別）

表-1 再現精度検証結果（t検定、f検定）

ホーム階	平均値（人/10秒）	t検定による統計的差検証	f検定による統計的差検証
調査実測値	31	94.6%の有意性確率	70.6%の有意性確率
モデル出力結果	31		
コンコース階	平均値（人/10秒）	t検定による統計的差検証	f検定による統計的差検証
調査実測値	27	86.6%の有意性確率	62.8%の有意性確率
モデル出力結果	29		

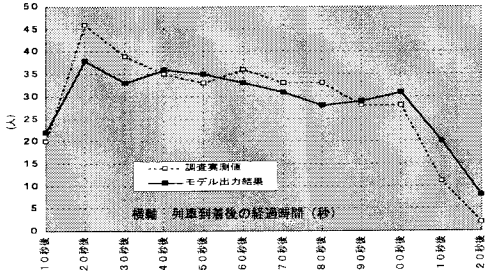


図-9 断面流量推移グラフ

評価項目2：空間密度推移（ホーム階渋谷側階段）

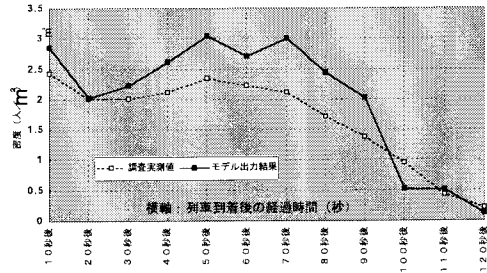


図-10 空間密度推移グラフ

評価項目3：旅行時間（コンコース階改札前）

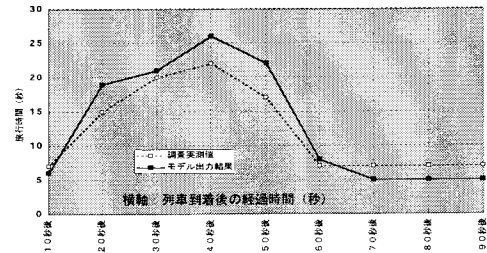


図-11 速度推移グラフ

評価項目4：捌き所要時間（各検証地点別）

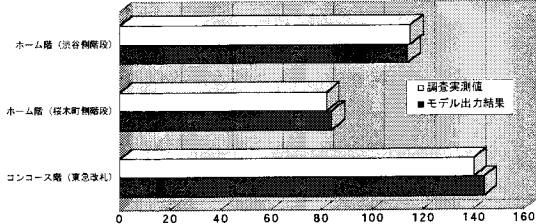


図-12 捌き所要時間グラフ（単位：秒）

(4) 検証結果の考察

当該解析において採用した評価項目は、ビデオ画像から定量化可能な項目を選定した。空間密度を除く3項目については概ね画像からの定量化精度、及びモデルによる再現精度も統計的検定により概ね確認された。但し、空間密度のカウントについては調査対象エリアを真上より観察する必要があること、及び対象とした1時間内に到着する約20本の列車毎に旅客属性(定期、不定期客)が異なるため特定の列車を選定する必要がある等の誤差要素を含まれる。当該の比較検証から総括的に判断して当該シミュレーションモデルは以下に示す駅施設設計画の支援業務に対して活用が見出されたとと言える。

- ・ 駅施設内の混雑状況、処理時間の見当
- ・ 建物形状、配置、幅員の複数案比較選定
- ・ 設備(エスカレータ、改札機)の数量、能力評価
- ・ 安全性を考慮した列車到着時間の目安

5. 今後の課題

以上、シミュレーションモデルの構築とその再現精度を実地調査を基に検証を行った。しかし、以下に示す理由等により当該モデルの再現精度向上や汎用性を目的として普遍的、客観的な評価指標にて実証ケースを重ねて行く必要があると考えている。

- ・ 複雑な動線経路、旅客ODを持つ駅への対応
- ・ 旅客属性(施設に関する事前情報保有等)別対応
- ・ 付帯設備(券売機、清算機等)による影響効果
- ・ 移動設備(階段、エスカレータ)の選択要因
- ・ 経路を選択する情報提供手段(案内板等)の効果

その他、上記課題を解決する支援ツールとしてシミュレーションモデルと各種データベースの併用を行っていく。その構成要素の概要を以下に示す。

表-2 データベース構成表

入退場者データ	乗降者情報 滞留情報	時間別、列車別、車両別乗降者数(平日日) 概略動線、慢性滞留箇所・程度
設備管理データ	FM情報 (数値、図面)	機能関連設備(ラッチ、エスカレータ等) 防災関連設備(消火、排煙、防災) ライフライン(電気、ガス、水道、空調) 止所監視カメラ等
環境情報データ	気象情報 地域情報 突発情報	天候、気温、台風、地震 通過交通量(車、歩行者)、イベント 事故、工事
テナント情報データ	各階テナント 利用形態 通報体制	配置、名称、人員、使用機材 営業時間、平日日出社人数 災害連絡体制、連絡先

具体的には、時系列の各断面交通量データから想定ノード・リンク網でのOD交通量、分岐率の推定等への活用が考えられる。

また、駅構内の案内板や時刻表の適正な配置、大きさ、明るさ等を歩行中の旅客(群集)の視点から検証し、また視覚的、心理的データの効果的収集手段として3次元化(バーチャルリアリティ)モデルの開発も進めていく。

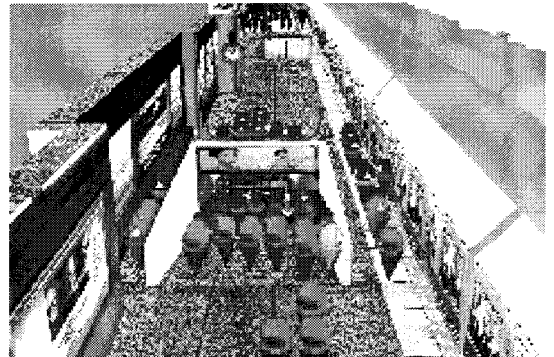


図-13 3次元変換図

最後に本研究を遂行するにあたり、多大なご協力と適切なご指導を頂いた横浜国立大学大蔵泉教授、並びに東急電鉄(株)交通事業部の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 林淳蔵：大規模空間におけるブロック型シミュレーション、日本建築学会大会梗概集 pp.1783-1784、1994
- 2) 菊池輝：高速道路休憩施設利用者の歩行動線シミュレーションモデルの構築 土木学会学術講演会、pp.288-289、1994
- 3) 青木俊幸：駅の旅客流動について 「鉄道ピクトリアル」、Vol.1 pp.70-74、1998
- 4) 海老原学：オブジェクト指向に基づく避難・介助シミュレーションモデル 日本建築学会計画系論文集、Vol.1、pp.1-12、1995
- 5) 大蔵泉：鉄道ターミナル歩行空間における錯綜の分析とサービス水準の考察、日本都市計画学会論文集、pp.619-624、1995
- 6) 阿久津邦男：歩行の科学、pp.56、1975
- 7) 岡田光正：建築と都市の人間工学、空間と行動のしくみ、pp.14、1977
- 8) 中村和男：歩行行動に対する物的環境の影響、pp.46、1977
- 9) 足立孝：柱・壁の位置と行動の性質、日本建築学会論文報告集、pp.746、1967
- 10) John J. Fruin：歩行者の空間、pp.75、1974
- 11) M. J. Horowitz：個人空間の究明、環境心理学 pp.92、1974
- 12) 建設省土木研究所：「歩行者行動特性および歩道の幅員に関する研究」、pp.13、1982
- 13) 打田富雄：電車站の乗降場及び階段幅員、鉄道技術研究所中間報告、pp.13、1956