

混雑状況での緊急時を考慮した屋外歩行者通路の運用方法の効果分析

Effectiveness Analysis of Outdoor Pedestrian Walkway Operation Methods Considering Emergencies in Congested Conditions

○木下 芳郎*¹、高瀬 聖*²
Yoshiro Kinoshita*¹ and Sho Takabuchi*²

*1 日本工業大学建築学部 准教授 博士（工学）

Assoc. Prof., Faculty of Arch., Nippon Institute of Technology, Dr. Eng.

*2 グランディハウス

Grandy House Co., Ltd

キーワード: 混雑時; 通路; 緊急時; 運用方法; 効果

Keywords: Congested Conditions; pedestrian walkway; emergencies; operation methods; effectiveness.

1 背景と目的

近年、駅周辺の市街地などにおいて、にぎわい創出、都市のコンパクト化などを目的に自動車中心から歩行者中心の街路空間整備が進められるようになってきた。こういった通路空間は歩行者のにぎわいが魅力となる一方で、急病人などが発生した際には救護のための迅速な対応が困難になってしまうといった点も懸念される。また、高齢者といった多様な属性の歩行者が比較的高密度に歩行する際に、歩行速度の違いによる衝突、転倒が生じやすいといった点にも注意が必要である。歩行者中心のまちづくりを進めていく際には、にぎわいのある通路のメリットとリスクについて整理し、問題が生じた際の影響を極力小さくするといったフェイルセーフを計画に組み込み、安全で魅力的な歩行者通路を整備する必要がある。

こういった視点で屋外歩行者通路の改善方法を考える時、まず着想されるのは高速自動車道の路肩であり、歩行者用の通路でも役立つ可能性があると考えられる。本研究では図1に示すように、屋外歩行者通路で急病人が発生した場合の搬送に着目し、歩行者通路に設けた緊急用スペースがどのような条件下で有効となるかについて、歩行者シミュレーションによって明らかにする。

2 研究の位置づけ

通路空間での群集流動については、密度と歩行速度、歩行者の属性による速度の違いなどについて多くの調査データが蓄積され、このデータを用いたシミュレーションによる空間の評価などがされている。例えば、緊急時にスタジアムから一斉に避難する場合といった大規模な群集流動をシミュレーションで表現した峰岸らによる研究^{1),2)}がある。本研究で扱う急病人の発生といった状況に関連した研究としては、ストレッチャーによって病院の患者を搬送する場合の調査が土屋ら³⁾によって、シミュレーションが海老原ら⁴⁾によって行われている。高齢者といった歩行速度などの異なる歩行者が混在した状況での群集流動の調査については林ら⁵⁾によって行われ、高齢者と健常者の混在した状況での避難行動をVRで検証する試みが佐野ら⁶⁾によって行われている。

本研究では、比較的混雑した通路において急病人が発生し、救護者が救護、搬送する状況を対象として、緊急用スペースを設けて救護活動時に運用する場合の効果マルチエージェントモデルシミュレーション^{注1)}によって分析する。

3 対象とする歩行者通路と想定する状況

本研究では、既存の歩行者通路の幅員や歩行者属性の構成などの調査を行った吉田⁷⁾らの調査を参考にして、本研究で想定する状況を設定することとした。通路の幅員は4.5 m程度、密度は0.5～0.8[人/m²]程度の状況を本研究におけるにぎわいのある混雑時として想定する。歩行者属性については、歩行速度の観点から分類し、高齢者などの比較的歩行速度の遅い歩行者が2～7割程度含まれる状況を想定し、緊急用スペースの運用がどの程度の効果をもたらすかを明らかにする。

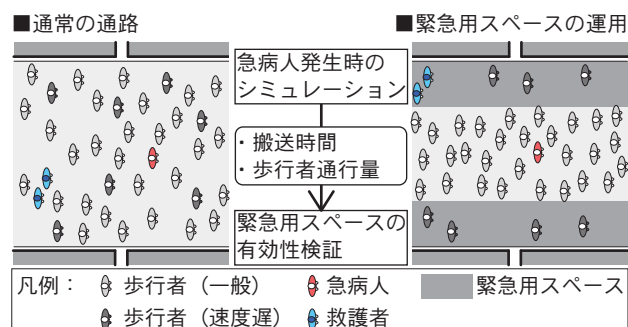


図1 本研究の目的

4 歩行者通路における急病人発生時の群集流動モデル

4-1 想定する緊急時のシナリオ

本研究で想定する緊急時のシナリオの概要を表1に示す。実際の急病人の発生状況やその対応方法は状況によって様々な場合があり、本研究の結果の範囲はあくまでこのシナリオに基づいた場合である。

歩行者は通路を一方方向に移動するものとした。発生する急病人は1人とし、急病人は救護者が来るまでその場に留まり、急病人を救護するため2人の救護者が急病人のもとへ向かう。急病人のもとへ救護者が到着した後、応急手当と搬送準備のための一定時間経過後に救護者と急病人と一緒に移動する。緊急用スペースがある場合にはまず緊急用スペースへ移動した後、緊急用スペースを通過して移動する。急病人と救護者は歩行者と逆方向に移動し、通路入口に到着した時点で救護終了とみなす。

4-2 歩行者通路の空間モデル

本研究で実施するシミュレーションでの通路空間の表現方法について図2に示す。通路空間は0.5m四方のグリッドを単位とする。歩行者はこのグリッドの中に最大1名が入れることとして、時間の経過に従いグリッドの位置を変えることで移動を離散的に表現する。歩行者は通路入口から対象通路空間に入り、逆側の通路出口から退出する。通路の側面は、実際には店舗などが面しているが、ここでは通路側面への出入りはなく、進入できない壁と同様の扱いをしている。

4-3 一般歩行者の行動モデル

一般歩行者の歩行のプロセスを図3に示す。通路入口から退出するまで前方のグリッドへ移動し続けることで歩行を表現する。行動の時間周期は1秒間であり、歩行

表1 本研究で想定する緊急時のシナリオ

1. 歩行者が通路を一方方向に通行する	平常時
2. 歩行者から1名急病人が発生して留まる	緊急時 急病人発生
歩行者は急病人周辺を避けながら通行する	
3. 救護者2名が通路入口から急病人へ向かう	
4. 救護者到着後、5秒間停止(搬送準備)する	搬送
5. 救護者が急病人と共に通路入口へ向かう	
6. 救護者と急病人が通路入口通過で終了	

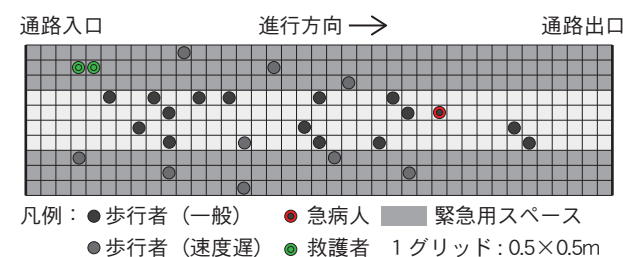


図2 歩行者通路の空間モデル

速度が1.0[m/s]の場合は最大2マス、0.5[m/s]の場合は1マス進む。前方のグリッドが他の歩行者や急病人などでふさがっている場合には図に示すように左右へ避ける、もしくはその場にとどまる。歩行速度が一般の歩行者は緊急用スペースに立ち入ることはできず、低速の歩行者は緊急用スペース上から歩行を開始するため原則として緊急用スペースを歩行するが、通常の歩行スペースも歩行可能とした。

4-4 急病人と救護の行動モデル

シミュレーションでの急病人発生時と救護の行動を図4に示す。通路上の一般の歩行者の中から1名を急病人と設定する。急病人はその場で横になることを想定し、急病人がいるグリッドを含む周辺の1.5m四方は他の歩行者が進入できないこととした。救護者は他の歩行者と同様に通路入口から急病人の場所に向かう。到着後、準備の時間が経過した後通路入口へ向かう。緊急用スペースがある場合は、急病人の場所へ向かう際と急病人と一緒に通路入口へ移動する際に緊急用スペースを通行する。

救護者が急病人のもとへ到着した後の移動のプロセスを図5に示す。緊急用スペースへ移動する際には通路と直行する方向に移動し、一般歩行者を横切るかたちで移動する。急病人と救護者が移動する際には、幅1.0m、長さ1.5mのグリッド6マス分のスペースを確保しながら移動することとした。

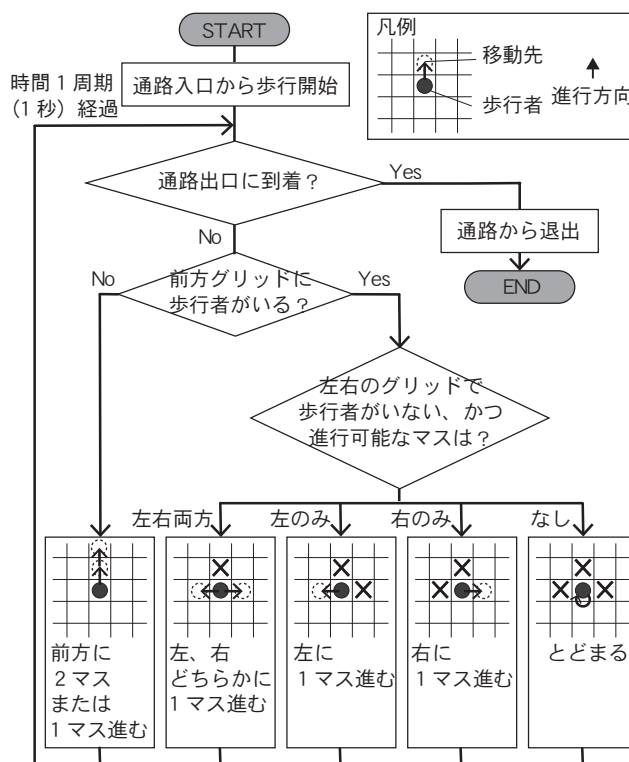
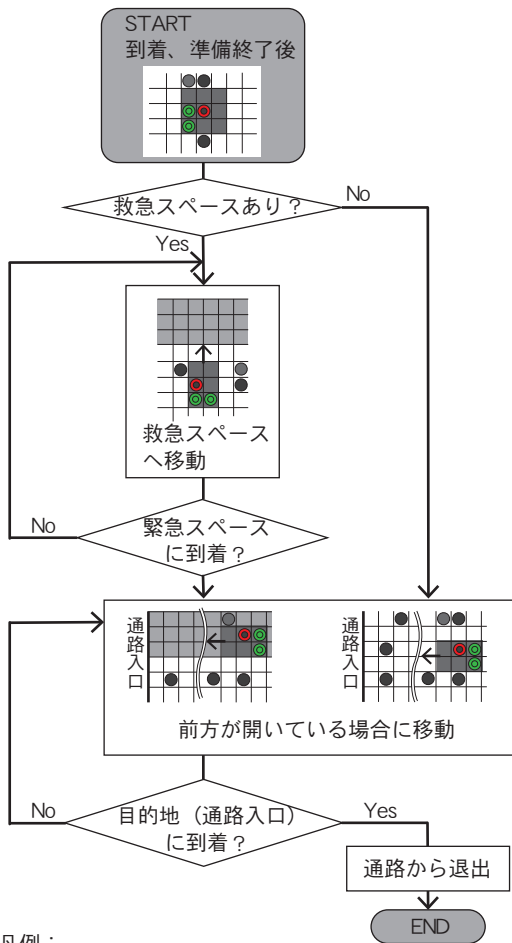
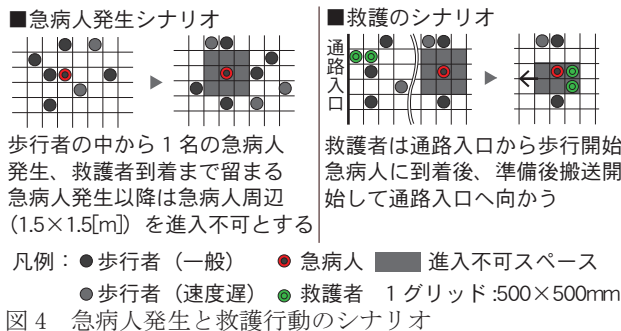


図3 一般歩行者の行動モデル

5 急病人発生時における群集行動シミュレーション

5-1 実施条件と設定ケース

緊急用スペースを設けた場合に搬送時間や急病人以外の通行量にどの程度違いが生じるかを確認する。シミュレーションの実施条件と評価に用いるデータを表2に示す。通路の幅員は4.5mから大小0.5[m]変えた3種類とした。歩行者の入口からの発生密度は0.5、0.8[人/m²]の2種類とした。歩行者の速度の構成比は、歩行速度は一般を1.0[m/s]、低速を0.5[m/s]として、その割合について密度が0.5[人/m²]の場合是一般がやや多い6割の



場合、少ない3割の場合の2種類を設定した。なお、密度の比較的高い0.8[人/m²]の場合については、若年層が主体の場合として一般が8割とした。緊急スペースを設ける場合は通路両側に1.5[m]とした。急病人は通路上の歩行者密度がほぼ一様になった状態で通路の中央で発生する。シミュレーションの実施ケース種類を表3に示す。

5-2 緊急用スペース運用の効果

シミュレーションは歩行者の発生するタイミングによって結果にばらつきが生じるため、同じケースで4回実施した結果を平均した。効果を確かめるための指標は、急病人の搬送時間と急病人以外の通行量とした。搬送時間は、救護者が急病人へ到着して準備ができた後、急病人と救護者が一緒に移動する際の搬送時間を比較することとした。通行量の比較は、急病人発生から搬送終了までを含む2分間の通行量を比較することにした。

5-2-1 搬送時間からみた緊急スペースの効果

図6に、各ケースの搬送時間、同条件での緊急用スペースの有無による搬送時間の差と比を示す。時間の比は、搬送時の平均的な速度比を表す。図6では搬送時間の比に着目してグラフにした。グラフをみると、ケースによるばらつきがややあるが、比率は1.1から1.2をやや上回る程度で速度が向上することがわかる。密度が高い場合にやや速度の比率が高くなる傾向がみられる。緊急用スペースによって、低速度歩行者のみが通行する比較的低密度の小さいスペースを通行することで移動がスムーズに行われたと考えられる。

5-2-2 搬送時間からみた緊急スペースの効果

同様に、各ケースについて急病人発生から搬送終了ま

表2 シミュレーション実施条件

●実施条件	
通路幅員[m]	4.0m、4.5m、5.0mの3種類
通路長さ[m]	20m
歩行者密度[人/m ²]	中:0.5、高:0.8の2種類
歩行速度[m/s]	一般:1.0、低速:0.5の2種類
歩行者速度構成	一般:低速= 6:4、3:7、8:2の3種類
緊急スペース	通路両側に各1.5mあり/なし
急病人の発生	通路密度が一様になった後、通路中央で発生
終了条件	搬送完了時に終了
●評価に用いる計測データ	
・通路入口から5mの断面通行量	
・搬送完了までの時間	

表3 シミュレーション実施ケース

●ケース種類	歩行者密度 [人/m ²]	歩行速度からみた歩行者の構成 (一般:低速の割合)	通路幅員 [m]	緊急用スペース
中-6:4-①~③A、B	中:0.5	6:4	①4.0	A あり B なし
中-3:7-①~③A、B		3:7	②4.5	
高-8:2-①~③A、B		8:2	③5.0	

で含む 2 分間における急病人以外の歩行者の通行量について、緊急用スペースの有無による効果を比較する。図 7 に、各ケースの通行量、緊急用スペースの有無による通行量の差と比率を示す。比率については、緊急用スペースがない場合に対するある場合の比率を求め、グラフにした。比率は 1.1 から 1.8 とケースによって異なるが、今回のケースではいずれも緊急用スペースによる効果があることが確認できた。緊急用スペースによって通常時と同様の通行が可能スペースが確保されることによって、停止や進路変更が起きづらくなったと考えられる。

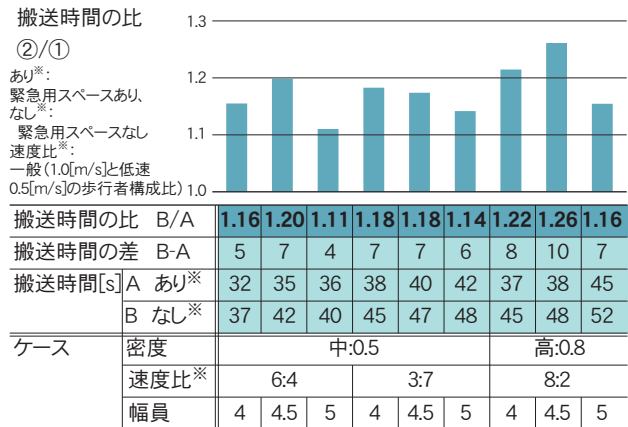


図 6 搬送時間からみた緊急用スペースの効果

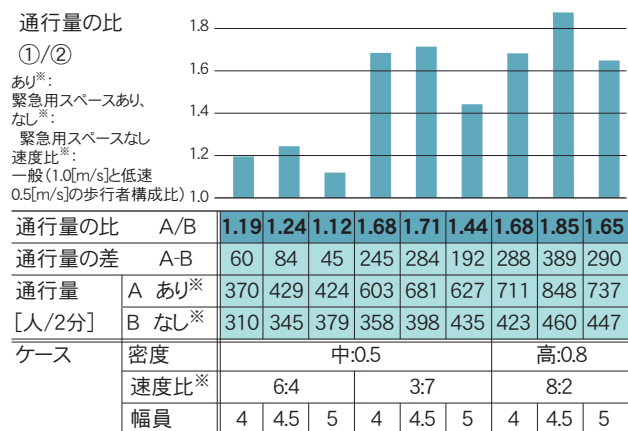


図 7 通行量からみた緊急用スペースの効果

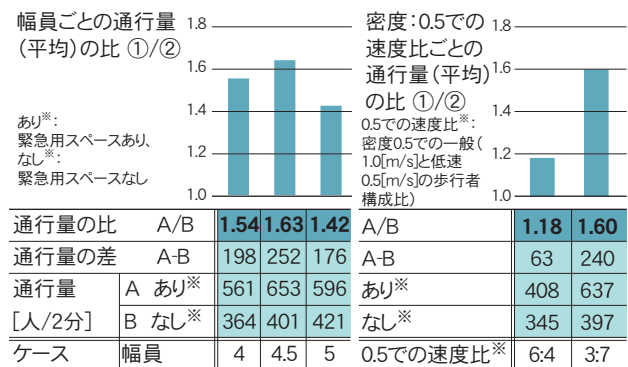


図 8 通行量からみた幅員による効果

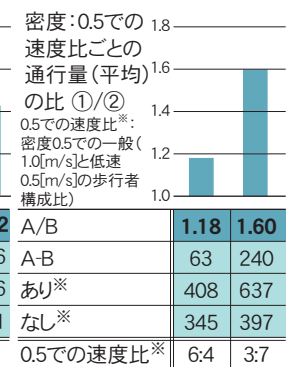


図 9 通行量からみた速度構成による効果

5-2-3 幅員と速度構成比による緊急用スペースの効果

緊急用スペースの効果について、通路の幅員、歩行速度の構成比による違いを比較する。同じ通路幅員のケースでの通行量を平均した値で比較した結果を図 8 に、密度：0.5 について速度の構成比一般：低速を 6:4 と 3:7 ごとに平均した値で比較した結果を図 9 に示す。幅員については、4.5 m による効果大きい。密度との関係など、さらに詳細な分析が必要であるが、十分に広い通路での効果は低くなる可能性が考えられる。歩行速度の構成では、密度：0.5 のケースで比べると低速の歩行者が多い方が効果大きい。ただし、さらに密度の高い 0.8 の場合では低速の割合が低い場合にも効果大きいことから、密度との総合的な検討が必要である。

6 まとめ

比較的混雑した屋外歩行者通路で急病人が発生した場合の搬送に着目して、歩行者通路に設けた緊急用スペースがどのような条件において有効かを歩行者シミュレーションによって分析した。急病人の搬送時間と急病人以外の通行量でその効果を確認したところ、救護者が急病人と一緒に移動する際の搬送時間では、1.1 から 1.2 をやや上回る程度で速度が向上する。搬送を含む 2 分間における急病人以外の通行量については、比率として 1.1 から 1.8 と緊急用スペースによる効果を確認できた。効果が比較的高くみられたのは幅員が 4.5 m の場合であった。なお、密度と幅員、歩行速度の構成によって効果が総合的にどのように変化するかについては、さらに詳細な分析が必要である。

注 1) シミュレーションモデル作成には株式会社構造計画研究所の artisoc を用いた。

[参考文献]

- 1) 峰岸 良和、竹市 尚広、スタジアム・劇場等における避難性状のマルチエージェントシミュレーションによる予測：日本建築学会計画系論文集、第 80 巻 第 712 号、pp.1233-1241、2015.6
- 2) 峰岸 良和、竹市 尚広：滞留の生成・連鎖の発生を制御したスタジアムの群集避難安全設計 スタジアム・劇場等における避難性状のマルチエージェントシミュレーションによる予測 その 2、日本建築学会計画系論文集、第 82 巻、第 739 号、pp.2173-2183、2017.9
- 3) 土屋 伸一、長谷見雄二 病棟特有の搬送形態による群集避難行動特性：日本建築学会計画系論文集、第 74 巻 第 640 号、pp.1271-1276、2009.6
- 4) 海老原 学、掛川 秀史：オブジェクト指向に基づく避難・介護行動シミュレーションモデル、日本建築学会計画系論文集、第 467 号、pp.1-12、1995.1
- 5) 林 淳蔵、佐野 友紀、鄭 姫敬、渡辺 俊、渡辺 仁史：巣鴨駅構内における高齢者の行動特性に関する研究：日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、pp.953-954、1993.3
- 6) 佐野 友紀、志田 弘二：避難シミュレータをもちいた行動時間の有効性－高齢者と健康者の混在状態における避難計画に関する研究－、2000 年度日本建築学会関東支部研究報告集、pp.361-364、2001
- 7) 吉田 純士、中西 賢也：観光地等における歩行特性に関する基礎的研究、交通工学論文集、第 5 巻 第 4 号（特集号 A）、pp.8-17、2019.4