

# 群集事故防止のための人流制御システム

Pedestrian flow control system for preventing crowd crush

小野 麻衣花<sup>1\*</sup> 井上 剛<sup>1</sup> 西野 和昭<sup>1</sup> 黎 俊宇<sup>1</sup> 柴田 淳司<sup>1</sup> 林 久志<sup>1</sup>  
Maika Ono<sup>1\*</sup> Go Inoue<sup>1</sup> Kazuaki Nishino<sup>1</sup> Junyu Li<sup>1</sup> Atsushi Shibata<sup>1</sup> Hisashi Hayashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology  
<sup>\*</sup>Corresponding author: Maika Ono, b2206mo@aait.ac.jp

**Abstract** This paper proposes a solution to crowd disasters in various scenarios using Multi-Agent Simulations. Crowd accidents have become more common in recent years, despite their infrequent occurrence. These events can have a significant impact and the severity of such incidents was demonstrated by the Itaewon accident in Seoul on October 29, 2022. With urbanization increasing population concentration in cities, the likelihood of Crowd accidents remains a concern. This paper focuses on selecting 4 scenarios that could lead to such accidents (1. Identification of people flow impediments and evaluation of their control at crowd accident sites, 2. Measures to properly control the flow of people by using belt partitions or other devices at station gates, 3. Analysis of pedestrian guidance by smartphone zombie walking lane, and 4. Reduce congestion and improve efficiency at event exits by optimizing travel start times) and proposes preventive measures to address these scenarios.

**Keywords** crowd accident; crowd control; multi-agent simulation

## 1 はじめに

東京都立産業技術大学院大学（以下、AIITとする）では、専門職大学院として、PBL（Project Based Learning）型教育を導入している[1]。本稿では、PBL型教育の一環として林PT（Project Team）で取り組んでいる「群集事故防止のための人流制御システム」について報告する。群集事故とは、制御されていない群集によって引き起こされた事故を指す。具体的には、ドミノ倒しや、群集雪崩、あるいは群集が殺到したことによる建造物の倒壊による事故等も含まれる。なお、本研究で対象とする群集事故は、群衆自身によって引き起こされる事故と定義し、火災や建物の倒壊といった二次災害は研究の対象としない。年間の群集事故件数は、過去120年間概して増加傾向にあり、ここ数十年間はさらに急増している[2]。図1は、1900年から2019年までの群集事故の件数である。

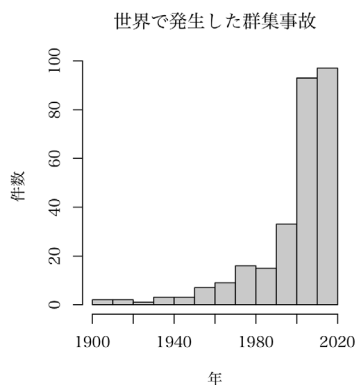


図1 1900年から2019年にかけての群集事故発生件数  
死者なし、負傷者10人未満の事故は除外。Felicianiら（2023）を基に作成

しかしながら、他の事故と比べると、群集事故の発生件数は少ない。災害疫学研究センターの災害データベース（EM-DAT）[3]では、2018年から2022年の5年間のデータについて、登録された災害の件数は2757件で、そのうち群集事故は12件である。

群集事故は発生件数が少ない一方で、発生した際の事故被害が大きい。被害の甚大さは2022年10月29日に韓国ソウルの梨泰院で起こった群集事故が記憶に新しい。この事故での死傷者数は、354

人となった[4]。このような背景より、群集事故を防ぐ方策について研究する意義は高まっているといえる。

群集事故の大きな原因として、人流制御が適切に為されていないことが考えられる。そこで、本研究では、群集事故の発生しやすい環境や人流制御を行うことができていない状況を研究の対象とした。群集事故の起こりやすい環境としては、屋内・屋外の大規模イベントや駅を研究対象とした。人流制御を行うことができていない状況としては、歩きスマホを研究対象とした。研究対象において解決すべき課題を小テーマとして設定し、各人がその課題を研究する。本研究の目的は、適切な人流制御によって、群集事故を未然に防止することである。提案手法については、今後マルチエージェントシミュレーション（MAS: Multi-Agent Simulation）を使用し、効果検証を行う予定である。

本稿の構成は次のようになっている。第2章から第5章で、各小テーマについて記述する。第2章では、群集事故現場における人流阻害要因の特定及び制御の評価について扱う。第3章では、駅の改札にベルトパーテーション等を用いて人流を適切に制御するための方策について扱う。第4章では、歩きスマホレーン設置による歩行者誘導の分析を扱う。第5章では、移動開始時間最適化によるイベント退場の混雑緩和と効率向上を扱う。第6章で、本研究のまとめと今後の展望について述べる。

## 2 群集事故現場における人流阻害要因の特定及び制御の評価

### 背景と目的

群集事故の原因解明は、単独の事故研究に留まることが多い。単独の事故研究の例として、652人の負傷者を出した2010年のラブパレード（ドイツ）での事故や、2000人以上の負傷者を出した2015年のメッカ（サウジアラビア）でのハッジ（大巡礼）中の事故は、死傷者数が多いことも相まって、さまざまな事故研究が行われている[5]。群集事故の発生頻度はまれで、発生場所や事故の起こったメカニズムが異なることが単独の事故研究に留まる理由として考えられる。それゆえ、サンプルサイズの小ささ、データ収集の難しさから複数の群集事故を対象とした共通する発生箇所の特定や、統計分析はあまり行われてこなかった。しかし、複数の群集事故に共通する原因を明らかにすることができれば、イベン

トにおける警備計画を設計する段階で防止策を考慮することができると考えられる。実際、韓国・梨泰院における事故や、ラブパレード、明石歩道橋事故に共通して、事前の警備計画の不備が原因として挙げられている。そこで、本小テーマでは、複数の群集事故に共通する人流を阻害する要因を明らかにし、人流阻害要因を包摂する環境下において、群集事故を未然防止する方策を提案することを目的とする。

### 関連研究

群集事故の原因については、物理学的な側面からのアプローチが多く行われている。群集を粒状物体と仮定し、物理学的シミュレーションを行うことが容易であることが一因である。例えば、Helbingら[6]は、2006年1月12日にメッカで起こった群集事故の映像を解析して、乱流の発見に至った。こうした事故発生メカニズムの解析は、どのような状態を経て、事故発生に至るのかが明らかとした点で評価できる。しかし、複数の群集事故の未然防止について考慮するとき、発生メカニズムの解析は防止策について具体的な方策を提案しない。複数の事故原因の解析としては、Felcianiら[2]が報道資料からその原因を発見しようと試みている。複数の国の長期間にわたる報道資料を分析するには、情報の伝播の速さや正確性を考慮しなければならないが、情報共有の指標を用いて、年代間の情報共有の不平等を考慮した点で評価できる。しかし、Felcianiらで明らかになった経済的な要因や、都市部への人口流入といったメタ要因は、群集事故における人流制御という観点からの対策が難しい。

### 問題設定

本小テーマにおいては、地形や明るさ、安全柵など、実際にイベント開催時に制御できる項目を重視し、複数の事故に共通する原因分析と、事故防止手法の提案を行うことを目的とする。特に、被害が広範に及ぶことが多い屋外イベントにて起こった事故を分析対象とする。イベント開催時、群集事故防止のために人流制御・空間設計等が行われるが、一般に、制御手法は各イベント会場によって異なると考えられる。会場によって条件が異なるので、制御手法が会場ごとにとられていることは当然である。加えて、イベント会場における制御手法は、同じ会場でイベントを行う際の経験則を元に導出されていると推測される。それゆえ、新たにイベントを開催する場合や、事前に参加人数の検討がつかない場合は、適切な対策を講じることが難しいのではないだろうか。本小テーマにおいては、共通する群集事故原因を明らかにし、新たに対策を提案することによって、群集事故を未然防止できる状態を目的とする。

### 提案手法

本小テーマにおいては、改善策の効果検証までを大きく

1. 人流阻害要因の特定
2. MASモデルの作成
3. 手法の提案と効果検証

で実施する。1.人流阻害要因の特定では、過去100年間で発生した群集事故のデータを収集し、複数の群集事故現場において共通する原因を明らかにする。データについては、Felcianiら[2]で用い

られているデータや、第32回明石市民夏まつりにおける花火大会事故調査報告書[7]で報告された「国内で発生した主な群衆事故」といった資料を元に、自らが分析に用いたい地形や明るさといった指標を追加する。分析は統計的手法や関連研究のサーベイ等を組み合わせて行う。2.MASモデルの作成においては、1.人流阻害要因の特定で明らかとなった共通する事故原因をMASモデル内で再現する。3.手法の提案と効果検証では、2で作成したMASモデル内で群集事故を再現し、その発生確率を提案する提案手法の有無で比較することで、効果を検証する。

### 評価軸

評価軸は、西田らの研究[8]に倣い、効率性、安全性の2軸を考えている。効率性の評価軸としては、速度と流量、安全性の評価軸としては混雑度を採用する。なお、評価軸については、分析結果によって別の評価軸を採用する可能性もある。

### 期待される成果

複数の事故を分析することにより、単一の事故にとどまらない複数の事故に共通する原因が明らかになる。分析結果により、今後のイベント開催時に防止策を立案しやすくなると期待され、また、分析に基づき手法を提案することで、群集事故の未然防止の一助となることが期待される。

## 3 駅の改札にベルトパーテーション等を用いて人流を適切に制御するための方策

### 背景と目的

ラッシュアワー時、イベント時、災害時に想像を大きく超える人流が駅の構内に発生し、駅のホームに人があふれ、電車の運行もなされる中、線路に落ちて電車に轢かれるという危険な状態が起きる。この小テーマでは、人々の安全を確保するために、駅の改札にベルトパーテーション(図2)等を用いて人流を適切に制御する方策を提案することを目的とする。



図2 ベルトパーテーション  
出典: イラストAC

### 関連研究

障害物を置いて人流を制御する研究がなされている。障害物が置かれる位置と障害物の大きさが避難時間に与える影響に関して、障害物の位置が出口から遠い場合は、障害物が大きい方が避難時間が増加するが、障害物が出口から近い場合は、人々が密集して滞留することには変わらず、障害物の大小は避難時間に影響を与えない[9]という研究結果がある。障害物の形状については、柱、壁(パネル)によるもの[10]がある。しかしながら混雑がひどくなった場合では、柱、壁だけでは人々の集中による密集を緩和することはできない。その他に、S字型ガードレール(図3)を用いた先行研究[11]があり、S字型ガードレールは、ジッパー効果(歩行者が

合流する際にお互いぶつからないようにとのプレッシャーから歩くスピードを落とすこと)を和らげ人流をスムーズにするものであり、2層のS字型ガードレールは1層のものより効果があると結論づけている。S字型ガードレールとは、S字型に経路を敷設して秩序だった移動を人々に促すものである。この先行研究がなされた中国においては、一部の駅において実際にS字型ガードレールが用いられているが、S字型ガードレールを用いた人流制御の研究が不足している。



図3 S字型ガードレール

問題設定

S字型ガードレールは先行研究結果からも、混雑時の人流の制御に効果を発揮するものである。しかしながら、日本においては一部の空港での利用に留まり、駅における利用は殆ど見られない状況である。実際に駅に設置した場合、混雑がない日常使用の状況においては、S字型ガードレールがあることにより最短距離で改札まで行けなくなり、人々のストレスを増加させてしまうことが原因の一つであると考えられる。そこで、混雑がない時は人流を阻害せず、混雑時は混雑度に応じて人流を制御し人々の安全を確保するS字型ガードレールを用いたシステムを考えていくものとする。

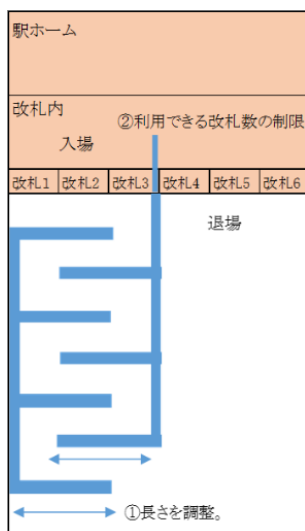


図4 駅改札に設置するイメージ

提案手法

今回、空港ターミナルにおいて見られるベルトパーテーションを用いて、S字の形に経路づけて利用するものとする。前述の問題を解決するために、S字型ガードレールの長さ(図4①)、階層数、自動改札機の利用可能数(図4②)を混雑度合いに応じて制御

することにより、駅が混雑している場合は勿論、駅が混雑していない場合においても乗客にストレスのない制御システムを、MASを用いて効果を検証し、今回、提案を行うものとする。S字型ガードレールの階層数の制御は、ベルトパーテーションのベルトの長さを調整することによる階層調整(図5)により行うものとする。また、自動改札機に通行制御を加えることにより、人流制御を深化させるものとする。シミュレーションにおける制御の内容としては、時間により変化する駅での乗降者数に応じて、動的に以下の設定で行うものとする。

1. S字型ガードレールのベルトの長さを3種類(長い、中間、なし)に調整し、S字型ガードレールの階層数を1から3の3段階
2. 各自動改札機での移動方向(入場/退場)
3. 各自動改札機の通行(可/不可)

尚、混雑している中、S字型ガードレールがない場合に、人々が重なりあうことで移動が滞留し時間をロスする状態をSocial Force Model(SFM)を用いて表現し、S字型ガードレールの優位性を表していくものとする。S字型ガードレール内は、秩序ある行動がなされるため、待ち行列を用いて表現するものとする。

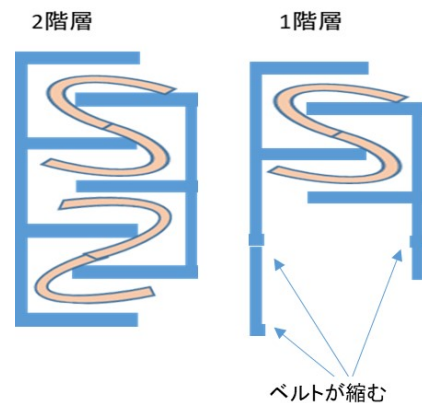


図5 階層調整

評価軸

安全性の確保の観点から、駅ホームへの人間の流入数が危険な数に至らないことが、最も重要な評価軸となる。その中で、駅改札内への人間の流入が完了するまでの時間数と人間の密集度合(密度)を総合的に評価するものとする。但し、駅改札内への流入完了までの時間数が増加しても、人々の密集度合が和らぐことにより、安全性が高まる場合は、そちらを評価するものとする。

期待される成果

駅において、S字型ガードレールを混雑に応じた使用が可能となり、現実的なS字型ガードレールの駅利用が実現する。混雑がない場合はS字型ガードレールがなく人々の通行を妨げることがなく、人々にストレスを与えず、混雑時にはS字型ガードレールが設置されることにより、秩序だった行動を人々に促し、人々の命を守るものとなる。

## 4 歩きスマホレーン設置による歩行者誘導の分析

### 背景と目的

近年、スマートフォンを注視しながら歩行するいわゆる「歩きスマホ」により、円滑な歩行が妨げられたり、歩行者間の衝突が発生したりしている。Web上で行われたアンケートによると、全国の15～79歳の男女のうち12.5人に1人は歩きスマホで何かとぶつかった経験があると回答している[12]。歩きスマホユーザーへの対策として、条例による規制や、スマートフォン本体による歩きスマホ検知機能の実装[13]、各種啓発活動などが挙げられるが、本小テーマでは歩行環境に介入を行うことで安全な通行の実現ができないかを検討するものとする。今回は、海外で試験的に行われた「歩きスマホレーン」[14]による歩行者誘導によって、歩行者衝突がどのように変化するか、また効果的な設置方法について検討する。



図6 歩きスマホレーンのイメージ (DALL-Eによる生成)

### 関連研究

歩きスマホなど、注意散漫な歩行者は「スマートフォンゾンビ」と呼ばれ、その行動特性については数多くの研究がなされている。ベルギーのコーレンマクトル広場の監視カメラを解析したところ、歩きスマホをしていたユーザーは歩行者全体の7.8%ほどであった[15]。また、歩行者に占める歩きスマホユーザーの割合が高まれば高まるほど、歩行者全体の通行速度を低下させているという研究結果も存在する[16]。

### 問題設定

環境上に歩行者レーンと歩きスマホレーンを設置し、東西方向から歩行するエージェントを歩行者として歩行者シミュレーションを実施する。歩行者の属性としては、歩きスマホユーザーと非歩きスマホユーザーを一定の割合で設定する。また、レーンを意識しないユーザーも想定される。歩きスマホレーンを意識するエージェントは自身が歩きスマホをしている場合にレーンに移動する行動をするのに対して、歩きスマホレーンを意識しないエージェントはそのような行動をとらない。

歩きスマホ/非歩きスマホと組み合わせて、エージェントは以下の4タイプを想定する。

1. 歩きスマホ×歩きスマホレーンを意識するユーザー
2. 歩きスマホ×歩きスマホレーンを意識しないユーザー
3. 非歩きスマホ×歩きスマホレーンを意識するユーザー
4. 非歩きスマホ×歩きスマホレーンを意識しないユーザー

### 提案手法

歩道上に歩きスマホレーンを取る配置を、複数のパターンで検証する。

1. 歩きスマホレーンを道路中央に取るパターン
2. 歩きスマホレーンを道路両脇に取るパターン
3. 道路混雑状況に応じて、歩きスマホレーンを設置/解除するパターン

1のパターンでは歩きスマホを行う歩行者がレーン中央に集中するのに対し、2のパターンは歩きスマホをしないユーザーによって歩きスマホレーンが隔離されることから、結果が異なることが想定される（歩きスマホ同士の衝突が減るのではないかと予想する）。また、混雑時は歩きスマホを行うリスクが高まることが想定されるため、設定・解除を行うことができるパターンも想定する（混雑時のみスマホレーンを解除する）。

また比較対象として、歩きスマホレーンを設定しないパターンも検証する。

### 評価軸

安全性と道路効率を考慮し、下記2点を評価軸とする

1. 歩行者間の衝突発生率（衝突発生回数/全歩行者数）
2. 歩行者の平均移動速度

### 期待される成果

歩きスマホユーザーが一定のレーンに集まった結果、歩行速度の異なる歩行者が区別されることで全体の歩行速度が上がるのが想定される。安全性に関しても、歩きスマホユーザーを分けることで衝突回数が減る可能性もあるが、かえって危険が増大する可能性も考えられるため、シミュレーションを行い結果を前後比較する。また、歩きスマホレーンを設置したことにより歩きスマホを行う人口が増える可能性も考慮したうえでシミュレーションを実施する。これらの検証により、より安全かつ効率的な歩きスマホレーンの設置方法を特定する。

## 5 移動開始時間最適化によるイベント退場の混雑緩和と効率向上

### 背景と目的

スポーツ大会やコンサートなどを代表とする大規模イベントは、人々に娯楽を提供すると同時にイベント自体も高い経済価値があり、現代社会における重要な構成要素である。年々イベントの規模は大規模化しており、イベント終了後の安全かつ速やかな退場の誘導も重要なポイントになっている。しかしながら、イベント会場から退場する場合、多くの参加者を一斉移動させると合計移動時間が少なくなるが、安全上のリスクが上昇し、混雑も起きやすくなり、最悪の場合、群集事故も発生し得る。一方、参加者の退場開始時間を分けて退場させる場合、安全性が高まるが、全参加者の合計退場時間が増えることがある。つまり、安全性と効率性のトレードオフが発生している。本小テーマでは、安全性と効率性の両方を重視しながら、イベント参加者を会場から退場させる方策を提案することを目的とする。

## 関連研究

大規模イベントの社会的 중요性と必要性について、Druryらの研究[17]では、大規模イベントが多くの人に仕事を与えると言及した。Staintonの文書[18]では、コロナ禍でイギリスのイベント開催が大幅に減少し、その状況が続くと関係者にとって仕事の危機から社会的問題が発生しうること注目している。また、Sharmaらの研究[19]では、韓国で発生した大きな事故を代表とした、死傷者が出た群集事故が研究され、イベント参加時及び入退場時の秩序維持の重要性が言及された。これらの研究では、本小テーマにおける大規模イベント退場時の混雑緩和と効率向上の重要性と必要性が示されている。

Hoogendoornら[20]は、歩行者の行動レベルに関して、①「Strategic Level」（移動開始時間の選択）と②「Tactical Level」（移動経路の選択）、そして③「Operational Level」（障害物の回避）を定義している。本小テーマは、①「Strategic Level」と②「Tactical Level」について扱う。また、西田ら[8]が群集混雑を緩和する方法に関して、①「群集制御」と②「空間設計」を定義している。本小テーマは①「群集制御」について扱う。同じ群集制御を扱う研究として、Haghaniらは、移動時間を分けるより一斉移動したほうが早く退場が完了することを発見した[21]。東京ドームに対する研究[22]では、移動開始時間を分散させることによる混雑緩和への有効性が証明されている一方、全員退場完了までの時間について非効率とも指摘されている。これらの研究から、方法、会場に拘わらず、退場の安全性（混雑状況）と効率性（全員退場までの時間）のトレードオフが課題になっていることが分かる。また、Abdelghanyら[23]は、出口が複数存在する場合は、移動開始時間を分散させることが移動時間短縮に貢献すると報告しているが、経路選択に関しては扱っていない。

## 問題設定

西田らの研究[8]では、「Strategic Level」に関する研究は未だに少ない。また、そのレベルに関わる前述の関連研究のように、既存研究には「移動開始時間を分散させると、混雑緩和に効果があるが、退場時間に対しては非効率である一方、一斉退場させると効率性が高まるが、安全リスクも高まる」という、安全性と効率性のトレードオフが発生していることが分かっている。そこで、いかに安全性を保ちつつ、速やかにすべての参加者を全員退場させるかが、本小テーマで解きたい問題である。

## 提案手法

本小テーマでは、最適な経路選択が組み込まれたダイナミック伝播式退場方策を提案する。このような方策によって安全性と効率性のトレードオフの最適化を図るものとする。つまり安全性（場内混雑状況）と効率性（全員退場までの時間）両方が高いレベルに至ることを目標とする。そこで、図7のようなシミュレーション環境にて効果を検証することとする。また、当提案の前提条件は以下とする。

1. 会場は主会場（ホールのような空間）、通路と出口で構成される
2. 主会場から会場を出るには、第一出口（主会場にある扉）と

通路を経由する必要がある

3. 通路には分岐と合流がある
4. 主会場、各出口（第一出口を含む）、通路の分岐には監視カメラが設置され、リアルタイムの流量状況を把握できる
5. イベント参加者はすべて何かしらのスマートデバイス（スマートフォン、スマートウォッチなど）を保有し、管理者からの指示（移動開始指示、退場経路指示）をリアルタイムで受けられる

**ダイナミック伝播式退場**は、図7の主会場エリアに配置されているエージェントの移動開始時間を制御するメソッドである。一見Abdelghanyらが提案したブロック分け退場方式[23]と同じ、退場開始時間を分散しようとする方策であるが、ブロック単位より、個人単位で退場開始時間を案内することによって、さらに細かい粒度から退場開始時間を分散させ、一か所の出口に大人数が集中することを回避できる。また、退場経路も個人単位に案内することによって、より複雑な場面でもスムーズな退場プロセスを図る方策である。その詳細は以下となる。

1. 主会場の各扉（以降：第一出口）に対して、最大瞬時容量となる人数分だけ、各扉への距離順で参加者を選択し、移動開始案内を行い、退場プロセスを開始させる
2. 退場の詳細経路を途中経路の距離と混雑状況を考慮した方法（後述）で、第一出口に到達する時点で計算する
3. 一定の時間間隔 $t$ で、各第一出口と最も近い、かつ動き出していない一定人数の参加者 $N$ 名を、対象参加者のスマートデバイスを通して移動開始指示を出す
4. 複数の出口が同じ参加者を選択する場合、プログラム上先に処理される出口を優先する
5. 会場内に設置された監視カメラを通して、各退場経路の流量状況と将来の流量見込み（後述）を把握し、それに合わせて各第一出口にあたる $N$ の値を変動させる（ $N$ 値を変動させる具体的なアルゴリズムは今後決めることとする）

この方策によって、会場内すべての通路が最大流量にできるだけ近づきつつ、過密にならないようバランスをとれることを期待している。

**最適経路選択**は、主に図7の通路エリアのような、分岐と合流のある複雑な経路環境にて、出口までの距離だけでなく、途中の混雑状況（到達する時点の予想混雑状況）も考慮し、場合によって大回りもして全体的に最短時間で出口まで至れる経路選択する方法になる。なお、膨大な計算を避ける為に、通路全体でなく、各第一出口、通路の分岐と合流（いわゆるボトルネックになりそうな場所、以降「ボトルネック」）のみ混雑状況の計算を行う。その詳細は以下となる。

1. 主会場にあるすべての第一出口に対して、すべての最終出口までのすべての経路をボトルネックレベルで算出。例えば、第一出口0から最終出口1まで第一出口2、分岐3（左）という路線と、第一出口2、分岐4（右）、分岐6（左）で行ける場合、その第一出口に[0, 2, 3, 1], [0, 2, 4, 6, 1]を保存

2. 各経路の距離/混雑評価値を式(1)で算出

$$S = aD + b \sum_{i=1}^n C_i t \tag{1}$$

うち、Sは各経路に対する評価値。aは距離の換算因子、bは混雑状況の換算因子、aとbはデータ単位化の役割を担い、結果に対して距離と混雑状況をできるだけ同じ影響力を持たせる目的をしている。Dは該当経路が出口までの総距離。Cは各ボトルネックの混雑状況、tは該当参加者がそのボトルネックに到達する予測時点で、全参加者の平均スピードと各ボトルネックまでの距離で算出する。よってC<sub>t</sub>は参加者が該当ボトルネックを通過する時点の予想混雑状況で、現在移動中の全参加者の経路選択情報から、t時点で該当ボトルネックにいる参加者数から算出する（より具体的な計算方法はこれから追加していく予定である）

3. 評価値が一番望ましい（一番S値が小さい）経路を選択する。  
 なお、選択された経路が持つボトルネックに対して、経過予想時点を通し、予想混雑状況を更新させる。現状、計算量削減の為、経路計算は1回のみ（第一出口に到達する時点で行うこととし、各分かれ道の誘導（経路選択）は経路計算する時に固定とする

同時に、シミュレーションのリアル性向上の為に、エージェントの移動アルゴリズムをHelbingら[24]が提案したSFMを用いる想定で、エージェントの行動パターンを性別、年齢、性格（指示に従う確率）と運動能力などの属性でコントロールする想定である。

以上の方策を通して、リアルワールドと近い環境にて流量コントロールすることで退場の安全性問題を解決し、また、各ボトルネックの流量を最大流量にできるだけ近くすることによって、安全な状態を維持できる範囲内において一番効率よく参加者を退場させることを期待している。

また、結果比較の為、同じ会場にて、退場策を導入せず、参加者を自由退場させる場合と、Abdelghanyらが提案したブロック分け退場方式[23]を導入した場合もシミュレーションを行う予定である。

評価軸

本小テーマはNetLogoでシミュレーションを行う予定で、前述3つのシナリオをそれぞれシミュレーションを行って、結果を分析する予定である。評価軸として、安全性評価と効率性評価を予定している。

1. 安全性評価は、会場内すべてのボトルネックに対する最高人流密度曲線式(2)と平均人流密度曲線式(3)でとる

$$f_{max}(t) = C_{max} t \tag{2}$$

$$f_{avg}(t) = \frac{\sum_{i=1}^n C_i t}{n} \tag{3}$$

ここで、C<sub>max</sub>tとはt時点における会場全体の最大混雑値（人/平方メートル）、C<sub>i</sub>tはt時点におけるボトルネックiでの混雑値である

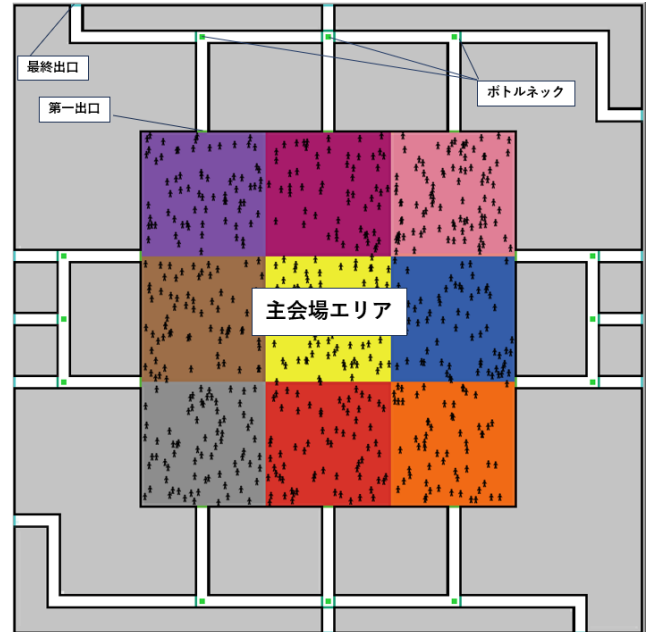


図7 シミュレーション環境のイメージ。検証実験の為、主会場エリア（色が付いている部分）はAbdelghanyらが設計した[23]会場と概ね同じ、通路エリア（グレーゾーンと白い通路部分）は提案策の効果検証する為の分岐と合流を含む通路である。また、主会場エリアに分布している黒い点の集団はエージェント（イベント参加者）である。主会場エリアと通路の接点は第一出口とし、通路と環境境界の接点は最終出口とする。

2. 効率性評価は、退場開始から会場内すべての参加者の退場までの時間T<sub>総</sub>と各参加者の平均退場時間  $\frac{T_{総}}{N_{参加者}}$  でとる

期待される成果

本小テーマの提案策を導入した場合、退場プロセスの安全性、効率性評価値ともAbdelghanyらが提案したブロック分け退場方式[23]を導入した場合より高くなることを期待している。もしその結果になる場合、この策をイベント主催者に提案し、条件のある会場/イベントに導入することも期待している。

6 まとめと今後の展望

本研究では、群集事故の被害の甚大さを憂慮し、群集事故を防ぐ方策を研究テーマとした。今後は、MASの実装を進めることにより、状況を再現し、各自の提案手法の有効性を検証していく予定である。

各テーマの今後の展望は次のようなものを期待している。

第2章では、群集事故現場における人流阻害要因及び制御の評価をテーマとした。今後は、複数の群集事故に共通する人流阻害要因に対して、具体的な改善策を提案し、MASで改善策の効果を検証する予定である。

第3章では、駅の改札にベルトパーテーション等を用いて人流を適切に制御するための方策をテーマとした。今後は、駅において、S字型ガードレール等を用いて人流を制御する適切なタイミングを把握するため、MASによる安全性、効率性についての検証を行う予定である。第4章では、歩きスマホレーン設置による歩行者誘導の分析をテーマとした。今後は、歩きスマホレーンを設置することによる円滑な歩行の達成を目的に、MASでレーンをどのように設置すると歩行者の衝突に効果的か検証していく。

第5章では、移動開始時間最適化によるイベント退場の混雑緩和

と効率向上をテーマとした。今後は、安全性と効率性のトレードオフを解消した上で、イベント参加者を会場から退場させることを目的に、複雑な会場環境での退場プロセスを再現し、提案手法が既存のプロセスより安全性、効率性で優れていることを検証していく。

## 謝辞

PBL副担当の伊藤潤准教授、そしてPBL認定登録外部評価者の阿部健太氏に、深謝する。

## 参考文献

1. 東京都立産業技術大学院大学. PBL (Project Based Learning) 型教育. Available: <https://aiit.ac.jp/education/pbl/>
2. Feliciani C, Corbetta A, Haghani M, Nishinari K. Trends in crowd accidents based on an analysis of press reports. *Safety Science*. 2023;164: 106174. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106174>
3. The Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). EM-DAT - The international disaster database. Available: <https://www.emdat.be/>
4. Ministry of Interior and Safety. 서울 이태원 사고 대처상황보고서(11.14. 23:00). Available: [https://www.mois.go.kr/frt/bbs/type001/commonSelectBoardArticle.do?sessionId=Hz+JQQesiPnJSOPzIVvUrfDo.node20?bbsId=BBSMSTR\\_000000000336&nttId=96570](https://www.mois.go.kr/frt/bbs/type001/commonSelectBoardArticle.do?sessionId=Hz+JQQesiPnJSOPzIVvUrfDo.node20?bbsId=BBSMSTR_000000000336&nttId=96570)
5. Helbing D, Mukerji P. Crowd disasters as systemic failures: analysis of the love parade disaster. *EPJ Data Science*. 2012;1. doi:10.1140/epjds7
6. Helbing D, Johansson A, Al-Abideen HZ. Dynamics of crowd disasters: An empirical study. *Physical Review E*. 2007;75. doi:10.1103/physreve.75.046109
7. 明石市総務局総合安全対策室. 国内で発生した主な群衆事故. Available: <https://www.city.akashi.lg.jp/anzen/anshin/matsurijiko/documents/siryout29.pdf>
8. 西田遼, 重中秀介, 加藤優作, 大西正輝. 群集シミュレーションによる歩行空間設計と制御に関する研究動向. *人工知能学会論文誌*. 2022;37: J-LB1\_1-16. doi:10.1527/tjsai.37-2\_J-LB1
9. Jia X, Murakami H, Feliciani C, Yanagisawa D, Nishinari K. Pedestrian lane formation and its influence on egress efficiency in the presence of an obstacle. *Safety Science*. 2021;144: 105455.
10. Zhao Y, Li M, Luc X, Tiana L, Yud Z, Huang K, et al. Optimal layout design of obstacles for panic evacuation using differential evolution. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2017;465: 175-194.
11. Chen H, Wang Y, Wang J, Li H, Jiang J, Ni L, et al. Effect of S-shaped guardrails on pedestrian crowd flows in bottleneck areas. *Safety Science*. 2023;159: 10620.
12. 歩きスマホと交通事故 | 全国300人調査で見る「ながらスマホ」衝突トラブルの傾向. Available: <https://agoora.co.jp/jiko/knowledge/walkingsmartphone-traffic-accident.html>
13. 歩きながらスマートフォンを操作すると警告画面を表示する「歩きスマホ注意アプリ」の提供開始について. Available: <https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2014/07/17/besshi506.html>
14. 中国の重慶に登場した「歩きスマホ専用レーン」. Available: [https://www.icr.co.jp/newsletter/global\\_perspective/2014/Gpre2014074.html](https://www.icr.co.jp/newsletter/global_perspective/2014/Gpre2014074.html)
15. Gorsev Argin HT Burak Pak. Between post-flâneur and smartphone zombie: Smartphone users' altering visual attention and walking behavior in public space. *International Journal of Geo-Information* Volume 9 Issue 12. 2020 [cited]. Available: <https://www.mdpi.com/2220-9964/9/12/700>
16. 玉田瑛子, 浅本紀子. MASを用いた歩きスマホの迷惑さの測定. 第149回IS研究発表会. 2019. Available: <http://is.ocha.ac.jp/~gradthesis/pdf/grad/2018/2018grad73.pdf>
17. Drury J, Rogers MB, Marteau TM, Yardley L, Reicher S, Stott C. Reopening live events and large venues after covid-19 "lockdown": Behavioural risks and their mitigations. *Safety Science*. 2021;139: 105243. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105243>
18. Stainton R. Why reopening the events industry is critical to the uk's economic recovery. *elitebusiness*. Available: <https://elitebusinessmagazine.co.uk/analysis/item/why-reopening-the-events-industry-is-critical-to-the-uk-s-economic-recovery>
19. Sharma A, McCloskey B, Hui DS, Rambia A, Zumla A, Traore T, et al. Global mass gathering events and deaths due to crowd surge, stampedes, crush and physical injuries – lessons from the seoul halloween and other disasters. *Travel Medicine and Infectious Disease*. 2023;52: 102524. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2022.102524>
20. Hoogendoorn SP, Bovy PHL. Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2004;38: 169-190. doi:[https://doi.org/10.1016/S0191-2615\(03\)00007-9](https://doi.org/10.1016/S0191-2615(03)00007-9)
21. Haghani M, Sarvi M. Following the crowd or avoiding it? empirical investigation of imitative behaviour in emergency escape of human crowds. *Animal Behaviour*. 2017;124: 47-56. doi:<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2016.11.024>
22. 丹羽了, 鷹見竣希, 重中秀介, 大西正輝, 保高徹生, 内藤航. データ同化を用いた大規模イベントにおける分散退場の効果分析. 第21回情報科学技術フォーラム. 2022;4: 65-72.
23. Abdelghany A, Abdelghany K, Mahmassani H, Alhalabi W. Modeling framework for optimal evacuation of large-scale crowded pedestrian facilities. *European Journal of Operational Research*. 2014;237: 1105-1118. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.02.054>
24. Helbing D, Molnar P. Social force model for pedestrian dynamics. *Physical Review E*. 1998;51: . doi:10.1103/PhysRevE.51.4282