

スタジアムにおける分散退場オペレーションの効果分析

丹羽 了[†] 鷹見 竣希[†] 重中 秀介[†] 大西 正輝^{††}

[†] 筑波大学社会学類経営工学主専攻 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

^{††} 産業技術総合研究所 〒135-0064 東京都江東区青海 2-3-26

E-mail: †s1811278@s.tsukuba.ac.jp, ††{s-takami,shusuke-shigenaka,onishi-masaki}@aist.go.jp

あらまし サッカースタジアムや球場などの大規模イベント会場における、効果的な分散退場の指針を歩行者シミュレータを用いた実験により示す。大規模イベント会場では群衆混雑を未然に防ぐため、分散退場が実施される。分散退場はイベント開催者によって、退場開始のアナウンスをグループ分けされた座席別に行うなどのオペレーションで実施される。しかし、分散退場の効果を実証実験により検証することは難しい。本研究では、歩行者シミュレータを用いた分散退場オペレーションの評価方法を示し、実際に採用されている分散退場の効果検証と、効果的なオペレーションの検討を行う。効果的なオペレーションを検討する実験の結果をスタジアムの構造による効果的な退場方法と収容人数と混雑の関係の2つの視点で議論し、分散退場オペレーションの指針を示す。

キーワード 分散退場, スタジアム, 大規模シミュレーション, 人流

1 はじめに

近年 COVID-19 の流行に伴い、人との距離感や混雑の発生に気を使う機会が増えている。サッカースタジアムや球場などの大規模イベント会場では、マスクの着用をよびかけ観客数を制限することで少しでも混雑を緩和しようとする試みが行われている。また、分散退場によっても混雑の緩和が図られる。大規模イベント会場では、試合終了後に一斉に観客が会場を離れるため、会場内及び周辺では混雑が発生する。会場付近の駅では大きな混雑が発生すると、電車に乗るまで待ち時間が発生する。他にも周辺の道路では深刻な渋滞が発生するなど、混雑の発生によって様々な問題が生まれている。このような問題は分散退場によって緩和できると考えられる。

分散退場とは、イベント開催者が参加者に対して退場のタイミングや経路について指示・命令を行うことである。分散退場を行うことで、会場内外の混雑を緩和することができ、コストもそれほど大きくはない。観客数の制限以外の方法で混雑を解消することができれば、観客数を増やすことが可能となり、多くの人がスタジアムなどでスポーツなどを楽しむことができるとともに開催者側の収益においても向上が見込まれる。COVID-19 の流行に伴い感染リスクを下げるための混雑抑制方法として期待されている。これまでも分散退場を採用するイベントはあったが、ある程度の混雑緩和は期待されるものの効果が明らかになっていないため、採用に至らない場合が多いと考えられる。本研究では、分散退場の効果を明らかにし分散退場による混雑緩和を目指す。

実際に実証実験を行い混雑の大きさを調べるのは、多くの地点での計測が必要があり、大きなコストがかかるため現実的ではない。そこで、歩行者シミュレータを用いて評価を行う。歩行者シミュレータによって、実世界を模倣したシミュレーションを行うことで、低コストに分散退場の効果検証を行うことが

可能である。そのために条件を変えた場合にどこで混雑が発生するかや避難時間がどのように変化するかをシミュレーションによって予測する技術を利用する [1] [2] [3]。

分散退場の効果検証では、様々なオペレーションについて実験を行い、効果的なオペレーションが無いかを検証する。検証実験の結果をスタジアムの構造による効果的な退場方法と収容人数と混雑の関係の2つの視点で議論し、分散退場の指針を示す。本論文は次のように構成される。2 節では今までに行われてきた類似研究と本研究を比較し、得られている知見について概観する。3 節では本研究における混雑の評価指標と研究対象である大規模イベント会場、分散退場オペレーションについての詳細を明らかにし、4 節では様々なオペレーションに対する実験結果を示し、5 節では結果からわかる知見について考察する。最後に 6 節で本論文での結論、今後の展望について述べる。

2 関連研究

本節では今までに行われてきた群衆制御や感染シミュレーションなどの類似研究と本研究を比較し、既存研究との違いについて述べる。

今までに様々な状況や設定について、歩行者シミュレーションを用いて群衆制御の評価が行われてきた。空間への障害物設置や信号制御のサイクルパターンの変更などによって歩行者の行動が変容することが報告されている [4]。また、分散退場ではないが避難行動において、切符売り場の構造が避難効率に大きな影響を与えることがわかっている [5]。つまり、構造によって混雑の大きさや移動する速さが変わってくるということである。異なる会場で異なる構造の通路や座席となれば観客の行動は異なる。したがって、各会場の構造に適したオペレーションが求められる。避難の場合では退場完了までの時間を短縮することが目的とされることが多い。その時は詰め込みが有効となり、分散退場は詰め込みと同等か劣っているものしか存在しな

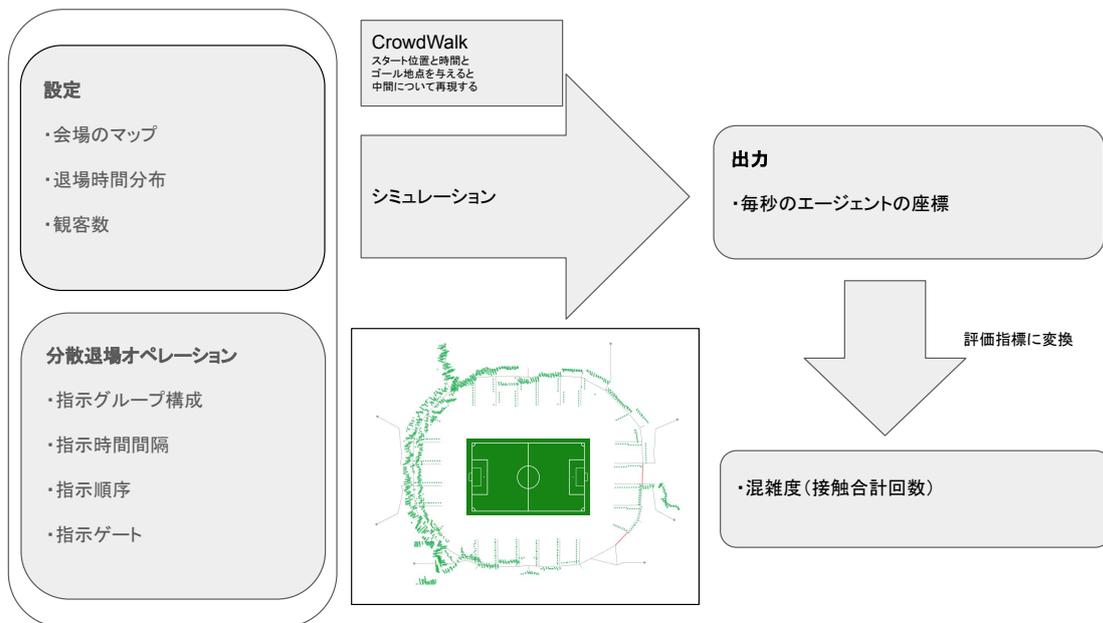


図 1: 処理の流れ

い。詰め込みとは分散させずに退場をさせることである。今回は混雑度を減らすことを目的としているため分散退場について注目することとなった。本研究では、会場の構造の違いや観客の退場開始時間をずらすことによって歩行者の行動に与えられる影響について考える。

スタジアムから駅までのルート選択を変えることによって、退場時間を短縮することができたという報告がある [6]。退場時間を短縮する際に混雑を避ける試みが必要だとされ、土地勘保有率や試合の勝敗によって行動が変化することがわかっている。本研究ではスタジアムの座席からの退場開始時間を指定し、スタジアムのゲートまでの行動について混雑度に注目して評価を行う。

また、本研究で用いる歩行者シミュレータ CrowdWalk を用いてシミュレーションを行い、避難する際に利用する扉の数や経路の誤りなどについて条件を設定し避難にどういった影響があったのか明らかにされている [7]。類似する研究内容であるが、本研究とは建物の規模や観客数が異なり、避難と退場といった状況の違いがある。CrowdWalk は一人ひとりのエージェントについて退場開始時刻、退場ゲートを設定することによって退場状況をコンピュータで再現することができる。CrowdWalk の特徴は退場経路を一次元で表現し、前方の人までの距離によって各エージェントの速度、加速度を決定することで処理を簡素化し、高速実行が可能な点であり、数千から数万、数十万の人の流れをシミュレーションすることができる。本研究では、様々なオペレーションについて数万人規模の実験を行うため CrowdWalk が適しているといえる。

群衆制御を評価する指標として、移動時間や速度、密度、流量、LOS(Level Of Service) などがある [8]。LOS とは Fruin が定めた群衆制御を評価する混雑度の定性的な尺度である。移動時間や速度という指標は避難シミュレーションなどの時間

を短縮する実験でよく用いられている。密度や LOS(Level Of Service) は安全性を評価する際に用いられる。人が極度に密になる状態は群衆事故につながる危険な状態であるため、群衆事故を回避するための研究が行われている。また、感染シミュレーションでは接触回数あるいは接触率といった指標から感染率などを割り出している [9]。今回は、COVID-19 の影響を考慮し、合計接触回数を用いる。

本研究では、2つのイベント会場の構造の違いに注目しながら、同時に 4 万人以上のエージェントを扱う大規模な群衆制御のシミュレーション実験を行う。そして、それぞれの会場の構造に適した分散退場オペレーションを合計接触回数によって評価し、どのようにして分散退場オペレーションが行われるべきか検討する。

3 評価指標と分散退場

本稿では、歩行者シミュレータ CrowdWalk を用いた分散退場の効果評価を行う。シミュレータを用いることで、歩行者一人ひとりに着目した混雑の評価が可能である。本節では、提案する分散退場オペレーションの評価指標である混雑度の算出方法と分散退場オペレーションについて説明する。また、本研究は図 1 に示した流れで行われる。7つの項目(会場のマップ、退場時間分布、観客数、指示グループ構成、指示時間間隔、指示順序、指示ゲート)について CrowdWalk に入力しシミュレーションを行い、出力として毎秒毎のエージェントの座標を得る。そして、座標を混雑度に変換して評価する。このような流れで実験を行う。

3.1 評価指標

評価指標となる混雑度は感染シミュレーションで用いられている接触率を出す際に得られる接触合計回数を用いる [9]。

快適な空間設計のための群衆制御の指標では、LOS(Level Of Service)を用いることが一般的だが今回は COVID-19 の影響を考慮し、合計接触回数を用いる。この指標を用いて、ドーム型を想定した野球場とサッカースタジアムについて評価する。混雑の大きさ、接触回数がそのまま感染や群衆事故のリスクにつながるものと考え、イベント会場の大きさなどによる正規化は不要である。

混雑度とする合計接触回数の評価式は、エージェント間のユークリッド距離によって計算される。以下の式 (1) $d_{i,j}(t)$ は歩行者 i と j のユークリッド距離、式 (2) C は接触合計回数を表す。

$$d_{i,j}(t) = \sqrt{(x_i(t) - x_j(t))^2 + (y_i(t) - y_j(t))^2} \quad (1)$$

$$C = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \begin{cases} 1 & (\text{if } d_{i,j}(t) < 2) \\ 0 & (\text{else}) \end{cases} \quad (2)$$

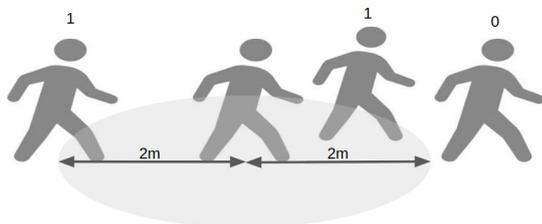


図 2

T はシミュレーションの全体時間、 N はエージェント数、 (x, y) はエージェントの座標情報を表している。接触回数はエージェント間の距離が 2m 以内の時に加算される。2m という距離は、厚生労働省が飛沫感染防止として取るべき距離として示した距離である [11]。また、World Health Organization は physical distancing として少なくとも 1m の距離を確保すべきと提唱している [12]。そのため、両者に当てはまる 2m を採用した。毎秒全てのエージェントに対して接触回数を記録しており、 T 秒間の接触回数の総和が接触合計回数となる。

本評価指標は、全ての歩行者の接触合計回数の総和であり、接触回数を 0 に近づけることにより、混雑が解消されるのは確かであるが、どこまで減らせば混雑してはなくなり、また感染リスクが低いと言えるかは定かではない。

3.2 分散退場オペレーション

分散退場オペレーションを決める指示グループ構成、指示時間間隔、指示順序、指示ゲートと状況設定を決める会場マップ、退場時間分布、観客数の計 7 項目について入力し分散退場をシミュレーションする。指示グループ構成とは、観客席についてのグループの分け方のことで、縦や横で分けることができ、グループの大きさや数も自由であるため組み合わせは様々である。指示順序とは、分けたグループに順番を与えること。3 グループであってもその組み合わせは 6 通りあり、その中で優劣が存在している。指示時間間隔とは、分け方で決めたグループ

間に時間差を与えることであり。指示時間間隔により遅れて出発する観客を発生させ、分散退場オペレーションをシミュレーションする。指示ゲートとは、ある席の人がどのゲートを通して退場するかを全観客について決める。最も近いゲートに向かう設定や人が交錯しないような設定、計測データから得られる退場ゲートの利用率に従わせるなどいろいろな指定方法が考えられる。

会場マップはスタジアムなどの構造に合わせて制作されることが望ましい。通路の広さ、ゲートや階段の構造などは混雑度に影響を与えることが予想される。退場時間分布は正規分布従うとする。しかし、実際には試合の勝敗や対戦カード、試合の重要度によって大きく変化することが予想される。また、分散退場オペレーションに強い強制力があるものとして実験を行う。観客数は会場に来場した観客の数である。

4 実験・結果

本節では実験の設定について説明しその結果について示す。

4.1 対象とするイベント会場

評価対象とした大規模イベント会場についての詳細を明らかにする。今回評価の対象としたのは、ドーム型野球場とサッカースタジアムの 2 つである。これらのイベント会場は、主に座席エリアと外側の大きな通路であるコンコース、その 2 つをつなぐ通路、階段、退場ゲートによって構成される。

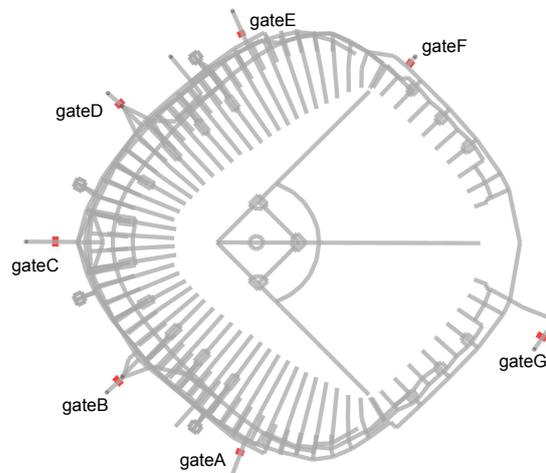


図 3: ドーム型野球場のマップ

ドーム型野球場は、収容人数が 55,000 人で 3 層構造の座席があり、コンコースは 4 階建て構造である。内野と外野で大きく構造が異なっており、退場開始時間の分布も大きく異なる。1 階、2 階コンコースからは 1 層目の座席に繋がっており、3 階は 2 層目 (VIP 席) と繋がっているものとする。4 階コンコースからは 3 層目の座席に繋がっている。退場ゲートは、2 階、4 階コンコースにある。内野と外野は座席間の通路とコンコースで繋がっているが、通路は狭くボトルネックになりやすい構造である。またドーム型野球場は構造上気圧管理が必要であるため、

ゲートは回転扉を採用している。回転扉は1つのゲートに2~5箇所設置されているが、一箇所につき1人ずつしか通ることができないため、ボトルネックになりやすい。

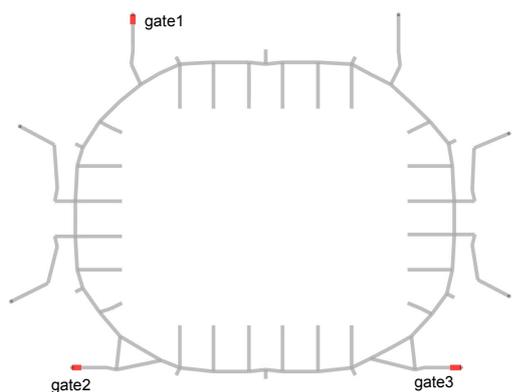


図 4: サッカースタジアムのマップ

本稿で想定するサッカースタジアムは収容人数が 40,000 人である。座席の構造は 2 層になっており、1 階のメインのコンコースからつながる 1 層目の座席と 2 階のコンコースからつながる 2 層目の座席に分かれる。3 つの退場ゲートがあり、2 つはホーム専用のゲート、1 つはビジター専用のゲートとする。一般にサッカーでは、ホームチーム側とビジターチーム側で席は分けられており、それにより利用できる、退場ゲートが制限されている特徴がある。1 階、2 階コンコースともに通路は全体的に 16m ほどの幅で設計されており、同時に多くの人が行き通ることができるようになっている。したがって、座席からコンコースに出る通路がボトルネックになることが多い。また試合終了後、選手挨拶などがあり、それらの前に帰る人とそれらを観てから帰る人に分かれる。

4.2 評価する分散退場オペレーション

評価する分散退場オペレーションを説明する。

最初に、表 1(1) について説明する。ドーム型野球場のゲートは一人ずつ通ることのできる回転扉がいくつか設置されているため、回転扉の数によってそのゲートにおいて時間あたりに通ることのできる人数が決まる。通ることのできる人数に合わせて席ごとに退場ゲートを割り振った。さらに、同じ退場ゲートに向かうグループの中で 3 つのグループに分けた。3 つのグループは退場ゲートから近いグループから A, B, C とした。指示時間間隔は 0 秒から 600 秒までを 30 秒ごとに増やし、指示順序は 6 通りすべての場合について試した。観客数は 17,000 人とした。

次に、表 1(2) について説明する。分け方は 8 分割、時間差は 0 秒から 15 秒ずつ増やし、300 秒までを試している。順番は反時計回りと時計回りで 8 箇所のスタート位置からそれぞれ設定し、観客数は 17,000 人とした。退場ゲートの利用率を gate1 は 0.55, gate2 は 0.45 とした。

次に、表 1(3) について説明する。分け方は退場ゲートごと

に 3 分割、時間差は 0 秒から 30 秒ずつ増やし、600 秒までを試している。順番は B, A, C で固定している。そして、観客数の違いによる変化を確かめるため 15,000 人から 5,000 人ずつ増やし 45,000 人までについて実行した。

最後に、表 1(4) について説明する。分け方は 8 分割、時間差は 0 秒から 15 秒ずつ増やし、300 秒までを試している。順番は反時計回りの D → A に固定し、退場ゲートの利用率を gate1 は 0.55, gate2 は 0.45 とした。そして、観客数の違いによる変化を確かめるため 5,000 人から 5,000 人ずつ増やし 40,000 人までについて実行した。

4.3 評価結果

表 1(1) で示したように分散退場オペレーションを実行したところ、混雑度は図 7(a) のようになった。横軸はグループの退場開始の時間差、縦軸は混雑度を示している、横軸が 0 の時点は分散退場を行わずにそのまま退場させた場合を表している。1 点が 1 回のシミュレーションを行った際の混雑度を示しており、1 本のグラフは分散退場オペレーションごとの混雑度の変化を示している。表 1(2) で示したように分散退場オペレーションを実行したところ、混雑度は図 7(b) のようになった。CW は時計回り、CCW は反時計回りを示す。ここでは、時計回り、反時計回りでそれぞれ最も性能の高いものと低いものを示している。表 1(3) で示したように分散退場オペレーションを実行したところ、混雑度は図 8(a) のようになった。1 本のグラフは各観客数における時間差ごとの混雑度の変化を示している。表 1(4) で示したように分散退場オペレーションを実行したところ、混雑度は図 8(b) のようになった。

5 考 察

5.1 スタジアムの構造による効果的な退場方法

ドーム型球場、サッカースタジアム両者において共通して考えられることが 2 つある。一つは指示時間間隔が増加にすることによって混雑度が減少することだ。指示時間間隔が 0 の時は分散退場を行わなかった場合を示すことから、分散退場オペレーションを行うことで混雑度を下げる効果があるとわかる。どの指示順序であっても混雑度の最小値は同じであり、指示順序に関わらずある程度の時間をかけると最小の混雑度に達する。混雑度が最小値をとるとき、グループが他のグループと重ならず退場する状態となる。つまり、混雑度最小化の際、他のグループとの重なりが少なくなるように分散退場オペレーションは決められるべきである。もう一つは同じ指示時間間隔でも混雑度が異なる場合があり、優れている指示順序が存在することだ。東京ドームの場合、図 7(a) の赤線は B,A,C の順の結果を示すが、常に他の指示順序と同じ値または優れている値をとる。この結果から B,A,C 以外の指示順序を選択する必要はないことがわかる。

また、ドーム型球場とサッカースタジアムの二つの構造の違いによって特徴的な結果が得られた。ドーム型球場では、図 7(a) 赤線の指示順序 B,A,C が優れているという結果になった。

	(1)	(2)	(3)	(4)
実験	効果的な退場方法		収容人数と混雑の関係	
会場	ドーム型野球場	サッカースタジアム	ドーム型野球場	サッカースタジアム
観客数	17,000 人固定	17,000 人固定	15,000 人, 20,000 人, ..., 45,000 人	5,000 人, 10,000 人, ..., 25,000 人
指示ゲート	座席ごとに指定	確率で選択	座席ごとに指定	確率で選択
指示グループ構成	退場ゲートごとに 3 分割	8 分割	退場ゲートごとに 3 分割	8 分割
指示時間間隔	0 秒, 30 秒, ..., 600 秒	0 秒, 15 秒, ..., 300 秒	0 秒, 30 秒, ..., 600 秒	0 秒, 15 秒, ..., 300 秒
指示順序	全ての組み合わせ	反時計回り, 時計回り	B → A → C	反時計回り D → A 固定

表 1: 分散退場オペレーション

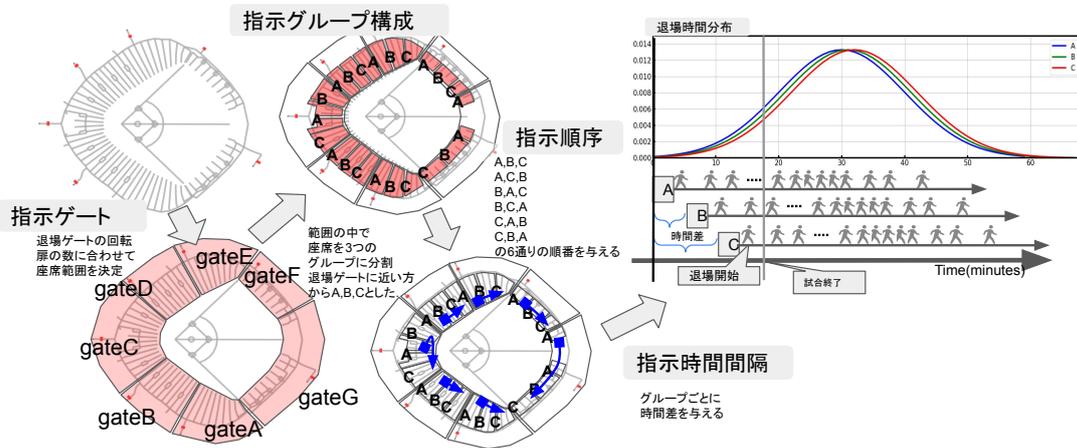


図 5: ドーム型野球場における分散退場オペレーション

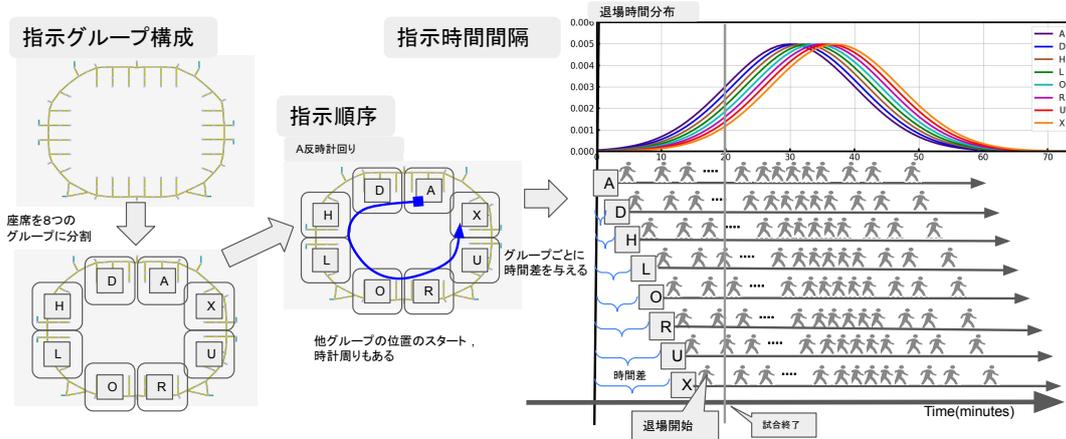


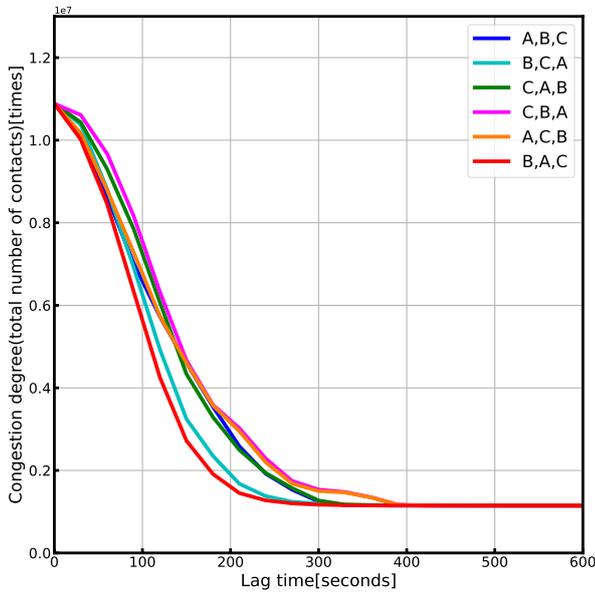
図 6: サッカースタジアムにおける分散退場オペレーション

通常の場合、退場ゲートに近いほうから順に退場させる方がグループ同士の重なりは少なくなる。ドーム型球場では A, B, C の指示順序で退場がもっとも効率的となるはずである。しかし、図 5 の gateA, gateE の C の接するコンコースが狭くなっている。そのため、B 退場開始直後に C が退場を開始すると B が退場を完了するまで、C は狭いコンコースで待つことになる。結果、B が退場してから時間が大きく空く指示順序 B, A, C が有効ということになった。サッカースタジアムでは、退場ゲートに近いほうから退場させた方がよいという結果となった。図 7(b) 青線の指示順序 D が示す D から反時計回り順に退場する方法が最も優れていることがわかった。指示順序 D が優れて

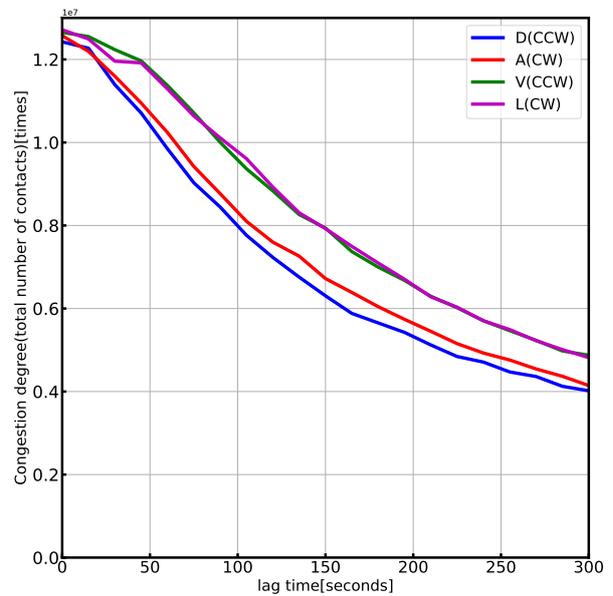
いる理由は 2 つある。1 つ目は、最も混雑するエリアの半分を最初に退場させ、残り半分を最後に退場させることで混雑が分散していること。最も混雑するエリアを先の方法で 2 等分する指示順序は反時計回り D と時計回り A である。2 つ目は、退場ゲートに近いグループから退場することで他グループとの重なりを少なくしていること。指示順序が反時計回り D は退場ゲートに近い方から退場を行ったため指示順序が時計回り A の時よりも混雑度が低くなったと考えられる。

5.2 収容人数と混雑の関係

オペレーションを変化させずに、観客数を増やしていきどの



(a) ドーム型野球場



(b) サッカースタジアム

図 7: スタジアムの構造による効果的な退場方法

ような違いがあるのかを見ることでサッカースタジアム、ドーム型野球場では来場者何人から分散退場の効果が大きくなるのか調査した。

観客数によって大きく混雑度が異なることが分かった。観客数が多くなり混雑度が大きくなる時、分散退場オペレーションの効果は大きくなる。つまり、入場人数の制限を緩和し多くの観客を球場やスタジアムに入れる際、分散退場オペレーションはより必要となる。混雑度は観客数に大きな影響を受けるため、イベントの主催者は想定される混雑度によって実施コストと相談し分散退場オペレーションを決定することが望ましい。それを判断する上で今回用いている混雑度の指標をどのように評価するかが重要になってくる。混雑度の指標は変化しないがそれをどう評価するのかがそのときによって異なる。そのため、分散退場を行うときにはどれほどの混雑度なら許容できるのかを明らかにし、分散退場の効果を求める必要がある。また、観客数によって適切な指示時間間隔がある。ドーム型球場では 25000 人は 250 秒程、30000 人は 300 秒程、35000 人は 400 秒程、40000 人は 500 秒程から変化が少なくなっていて、サッカースタジアムでは 30,000 人は 60 秒程、35,000 人は 120 秒程、40,000 人は 180 秒程から変化が少なくなっている。つまり、それ以上長い指示時間間隔を設けても効果が少ない。観客数によって適した時間差があることがわかり、それぞれのスタジアムで構造に合わせてシミュレーションを行うことは観客人数に合わせて混雑度を減らす見積もりを作るのに有効である。

6 まとめ

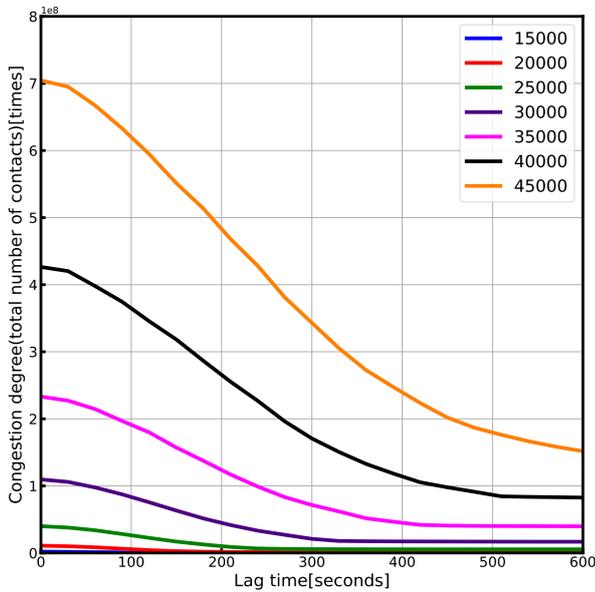
本論文では、分散退場オペレーションの評価手法を示し、分散退場オペレーションについてシミュレーションを行い、評価し、その結果について考察した。そして、指示時間差が大きく

なると混雑度が減少すること、効率的な指示順序があること、会場の構造によって適切なオペレーションが異なること、観客数が多いときに混雑度が大きくなり分散退場オペレーションの効果も大きくなること、観客数によって適切な指示時間間隔があることを示した。以上のように分散退場オペレーションの効果についての様々な知見を得ることができた。

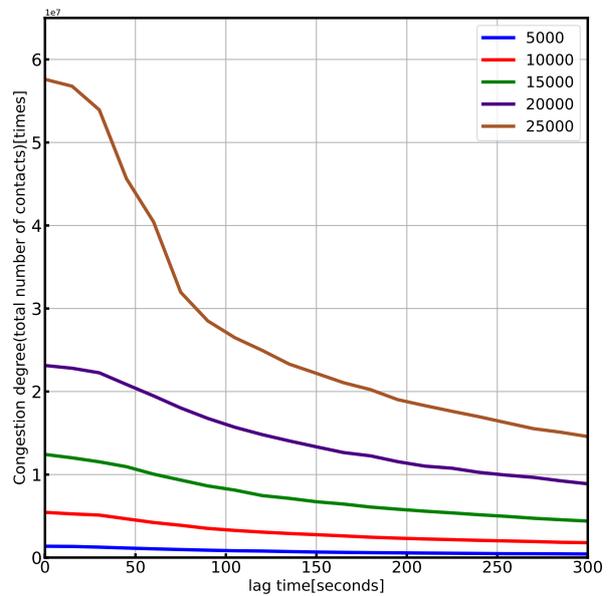
また今後の課題として、本研究では空間的オペレーションについてはほとんど固定した状態で、時間的オペレーションについて変動させることで分散退場オペレーションの評価を行ったが、今後は空間的オペレーションについても考えることが望まれる。グループ分けの方法をどうするのかについても最適な答えがあると予想される。

本論文では 2 つの会場のマップについて分析を行ったが、実世界には様々な構造のスタジアム、ドームがある。混雑の解消を目的に分散退場を行う際はシミュレーションを行い、構造に適した分散退場オペレーションを検討した上で実行することが望まれる。また、シミュレーションを行い適しているとした分散退場オペレーションの実際効果についても実証実験で計測されることが望まれる。実証実験を行ったとしても接触合計回数を計測するためにはかなりの数の計測機器が必要となり、現実的ではない。そのため、データ同化を用いて計測データとシミュレーション結果を一致させ歩行者の軌跡を推定し評価する必要がある。

分散退場オペレーションを実行するためには観客を待たせる必要があり、誘導員や掲示、アナウンスなどのコストがかかる。効果とコストはトレードオフの関係にあり、その 2 つについて最適化を行いパレート解を得ることができる。パレート解を得ることで分散退場オペレーションの実行を考える際にけることのできるコストを考慮して最適な分散退場オペレーションを



(a) ドーム型野球場



(b) サッカースタジアム

図 8: 収容人数と混雑の関係

選択することができる。今後よりよい分散退場オペレーションを選択できるようにするために、効果とコストの関係について研究されることが望まれる。

文 献

- [1] Alessandro Pluchinoa, Cesare Garofalob, Giuseppe Inturric, Andrea Rapisardaa and Matteo Ignaccoloc, "Agent-Based Simulation of Pedestrian Behaviour in Closed Spaces: A Museum Case Study," *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol.17, no.1, 16, 2014.
- [2] 山下倫央, 副田俊介, 大西正輝, 依田育士, 野田五十樹, "一次元歩行者モデルを用いた高速避難シミュレータの開発とその応用," *情報処理学会論文誌*, Vol.53 No.7, pp.1732 - 1744, July 2012.
- [3] Tomohisa Yamashita, Shunsuke Soeda, Masaki Onishi, Itsuki Noda, "Exhaustive Testing of Evacuation Plan with High-Speed Evacuation Simulator," *International Scientific and Technical Conference Emergency Evacuation of People from Buildings*, pp.357 - 364, March 2011.
- [4] S. Chen, L. Fu, J. Fang, P. Yan, "The effect of obstacle layouts on pedestrian flow in corridors: An experimental study," *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 534, 122333 (2019).
- [5] W. Liao, X. Zheng, L. Cheng, Y. Zhao, Y. Cheng, Y. Wang, "Layout effects of multi-exit ticket-inspectors on pedestrian evacuation," *Safety Science*, Vol. 70, pp. 1-8 (2014).
- [6] 高島 凌, "京セラドーム大阪から創造する効果的な退場方法",
- [7] 大西正輝, 山下倫央, 星川智也, 佐藤和人, "人の流れの計測とシミュレーションによる避難誘導の伝承支援—新国立劇場における避難体験オペラコンサートを例に—", *SIG-KST*, Vol.26, No.6, pp.1-6 (2015).
- [8] 西成活裕 (2020), "群衆マネジメント総論—理論と実践—", 東京大学社会連携部門群衆マネジメント研究会
- [9] G. Hernandez-Mejia, E. A. Hernandez-Vargas, "When is SARS-CoV-2 in your shopping list?," *Mathematical Biosciences*, Vol. 328, 108434 (2020).
- [10] M. Onishi, "Analysis and Visualization of Large-Scale Pedestrian Flow in Normal and Disaster Situations," *TE Trans. on MTA*, Vol. 3, No. 3, pp. 170-183 (2015).
- [11] 厚生労働省労働基準局安全衛生部長, "新型コロナウイルス感染症の大規模な感染拡大防止に向けた職場における対応について(要請)," 厚生労働省 (2020).
- [12] World Health Organization, "Overview of public health and social measures in the context of COVID-19", Interim guidance 18 May 2020