

大規模展示ホール施設を対象とした段階的避難の有効性に関する検討 Examination of effectiveness of phased evacuation strategies in large-scale exhibition hall facility

西川 憲明^{*1}
Noriaki Nishikawa

廣川 雄一^{*1}
Yuichi Hirokawa

山田 武志^{*2}
Takeshi Yamada

印南 潤二^{*2}
Junji Innami

浅野 俊幸^{*1}
Toshiyuki Asano

^{*1} 国立研究開発法人海洋研究開発機構 地球情報基盤センター

Center for Earth Information Science and Technology, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

^{*2} 株式会社ベクトル総研
Vector Research Institute, Inc.

In recent years, crowd simulation has received a surge in attention. One of the reasons for investigating crowd flow is to optimize evacuation procedures from densely occupied buildings and urban centers in case of an unpredicted event. Such evacuation planning can save many lives at sudden catastrophic events like tsunami. In this paper, the effectiveness of phased evacuation strategies is examined in a large-scale exhibition hall facility. It is clearly demonstrated by numerical analyses that phased evacuation has positive effects on the mitigation of high-density pedestrian flows and heavily congested state in comparison with traditional simultaneous evacuation. Our approach has potential for contribution toward investigating disaster risk reduction strategies in complex urban space.

1. はじめに

大規模集客施設や高層ビルなどの極めて多くの人々が集まっている場所で災害が発生した場合、危険な状況から人々を迅速に遠ざけるとともに、避難途上における群集事故を発生させないような的確な避難誘導が必要とされる。そのためには、対象施設の空間特性や利用実態に応じた現実的な避難誘導対策を計画し、避難誘導計画が多数の災害状況に対して機能するかを事前に評価、検証しておくことが求められる[山下 11]。

本研究では、群集避難シミュレーションを実施することで、大規模展示ホール施設を対象とした災害発生時の群集避難行動において、歩行者の安全性が危惧される高密度歩行者流あるいは歩行者の滞留現象の発生を低減させる方法として、避難開始時間を区域ごとに調整する段階的避難の有効性について定量的に評価することを目的とする。

超高層建築物に代表される多層の建築物においては、大規模な火災や非常事態の発生により、在館者の全館避難が強いられる場合の避難計画として、段階的避難の有用性が指摘されている。一方、本論文で対象とする大規模展示ホール施設は高層建築物というわけではなく、段階的避難の有効性についての理解は十分とは言えず、安全かつ効率の良い避難誘導計画を段階的避難の観点から検討することには大きな社会的意義があると考えられる。

2. 対象施設の概要

シミュレーションの対象施設としては、図 1 に示すような大規模展示ホール施設とする。施設 1 階に位置する展示ホールは総面積約 20,000 m²、4 分割可能で、無柱構造となっている。施設図面のうち、黄色の破線で囲んだ範囲をシミュレーション対象

領域とする。

本論文では、上記対象施設の来場者が展示ホールから 2 階に移動し、最寄り駅方面に向かう避難行動を研究対象とする。シミュレーション対象領域の空間構成については、1 階空間は展示ホール、施設屋内コンコース、屋外コンコースから構成される。2 階空間は施設屋内コンコース、屋外コンコース(デッキ)から構成される。

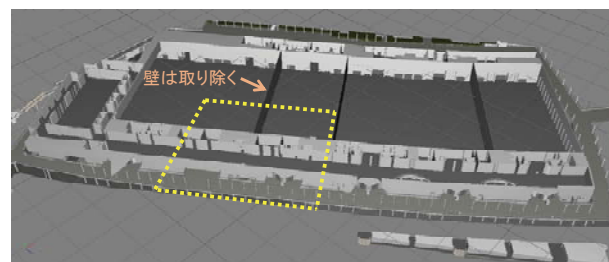


図 1 シミュレーション対象領域(黄破線領域内)。

展示ホール内には 6 つの進入不可領域を設定し、各進入不可領域の周辺に 6 か所の避難者エージェント発生領域を定義した(図 2)。各発生領域の大きさは 1 m × 1 m 程度とする。

歩行者発生領域は 1 階の展示ホール内部に計 36 か所設置されており、各領域から発生する歩行者エージェントの総数は同一とした。各発生領域からのエージェント発生速度は 1 人/秒とした。また、図 2 に示すように、各発生領域は B1 から B6 までの 6 ブロックに割り付けられているとした。

避難者エージェントの動線は図 2、図 3 に示すとおりである。本検討では避難者の最終目的地は 2 階のデッキ上とする。展示ホール内で発生した避難者エージェントは、展示ホール出入口から施設屋内コンコースに移動する。その後、屋内エスカレータ(ESC)もしくは外階段を利用して 2 階に移動し、最終目的地を目指すことになる。

連絡先: 西川 憲明, 国立研究開発法人海洋研究開発機構 地球情報基盤センター, 〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町 3173 番 25, nnishikawa@jamstec.go.jp

現在、エスカレータは建築基準法上、避難施設に該当しないため、災害時にどのように利用すべきかほとんど検討がなされていない。一般的には、避難経路としてエスカレータは認められておらず、非常時には停止させることが前提とされている。避難活用を検討する場合も、停止した状態で階段の代わりに使うことを想定することが多いが、災害時に避難すべき方向に走行させて安全に利用することができれば、避難時間の短縮に大きな効果があるだけでなく、階段での避難に困難がある高齢者や身体障害者の避難にも有効であると考えられる[岡田 11]。

以上の観点から、本研究では 2 階への通行手段としてエスカレータと階段の両方を利用可能とした場合を想定するものとする。

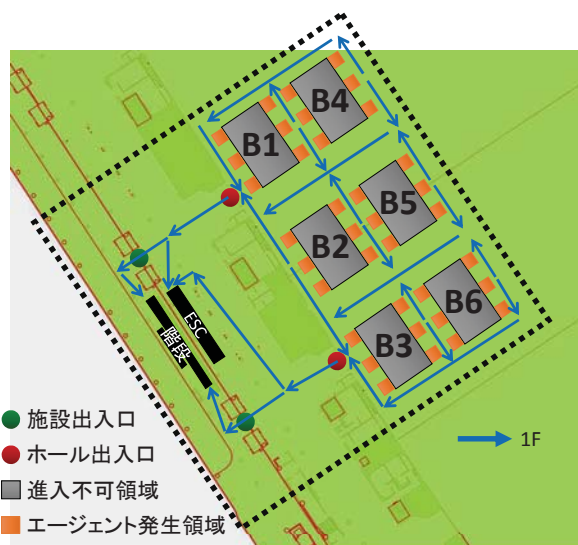


図 2 1 階の動線(黒破線が対象領域)。

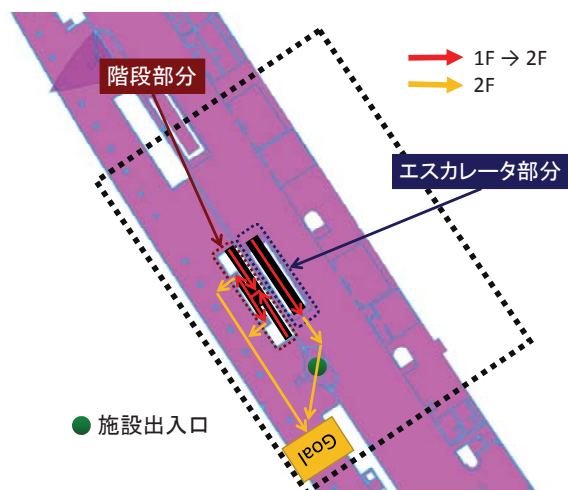


図 3 2 階の動線(黒破線が対象領域)。

3. シミュレーション結果と考察

大規模展示ホール施設の群集避難性状を明らかにするために、群集避難シミュレーションを実施した。ホール内在館者の避難行動を表現するシミュレーションモデルとしては既往論文[西川 17]を踏襲した。モデル詳細については当該文献を参照されたい。本研究では、展示ホール内にいる来場者が館内放送を受けて一斉に避難する場合と段階的に避難する場合の群集避

難性状を比較することで、段階的避難の有用性について検討する。

段階的避難については、2 段階避難と 6 段階避難の 2 種類の仮想的な避難指示を想定した。ここで、2 段階避難とは、まずはブロック B1～B3 内の歩行者が避難を開始し、一定時間経過後、ブロック B4～B6 内の歩行者が遅れて避難を開始するものである。また、6 段階避難とは、ブロック B1 から B6 の番号順で、ブロック内の歩行者が一定時間遅れで順次避難を開始するものである。

歩行者の発生総数は 288 人、900 人、1512 人とした 3 ケースを想定した。また、各発生総数における計算結果は、擬似乱数のシードを変えて得られた 10 回のシミュレーション結果の平均値として算出した。

段階的避難における群集避難性状を概括するために、平均旅行時間と平均避難完了時間から構成されるパラメータ空間に、一斉避難、2 段階避難および 6 段階避難の計算結果をまとめてプロットしたものを図 4 から図 6 に示す。図中の秒数は段階的避難における避難開始遅れ時間を表している。一斉避難の計算結果は、避難開始遅れ時間を 0 秒としたものであることに注意されたい。

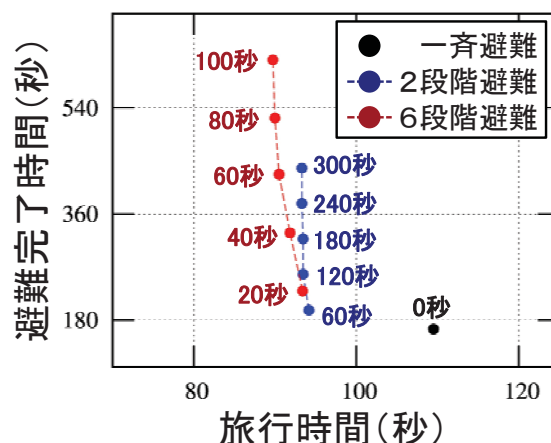


図 4 旅行時間と避難時間により表現される群集避難性状。歩行者数 288 人。

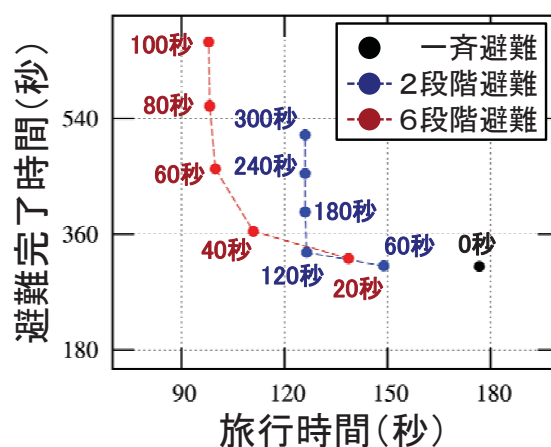


図 5 旅行時間と避難時間により表現される群集避難性状。歩行者数 900 人。

歩行者の発生総数が 288 人の場合、一斉避難に対する段階的避難の優位性は見られない(図 4)。一斉避難の場合のシミュレーション結果を見てみると、混雑のないスムーズな歩行者交通流が実現されていることから妥当な結果であると考え(図は省略する)。しかしながら、歩行者の発生総数を 900 人、1512 人と増大していくと、言い換えると、避難途上における歩行者の滞留現象の顕在化にともない、一斉避難に対する段階的避難の有用性は向上していく傾向が確認される(図 5, 図 6)。

歩行者の発生総数が 900 人、1512 人の場合には、段階的避難における区域数および避難開始遅れ時間を適切に設定することで、避難完了時間の増加を抑え込みながら、旅行時間を大きく減少させる、すなわち群集滞留の発生を効果的に抑制できることが観察される。

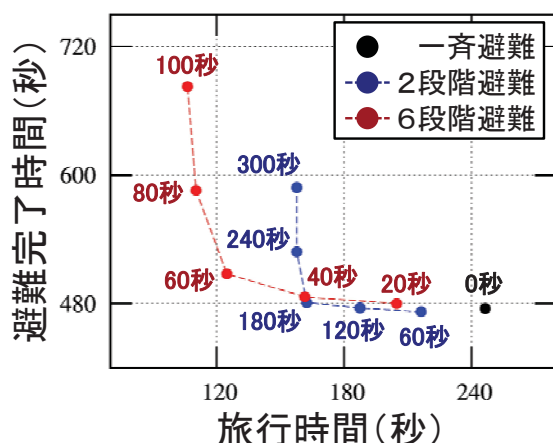


図 6 旅行時間と避難時間により表現される群集避難性状。
歩行者数 1512 人。

最後に、避難途上における群集の滞留パターンを把握するために、歩行者の発生総数を 1512 人とした場合の群集避難行動のシミュレーション結果を図 7, 図 8 に示す。

青線は 1 階の障害物線分、青丸は 1 階を移動中の避難者、赤線は 2 階の障害物線分、赤丸は 2 階を移動中の避難者を表現している。

一斉避難の場合のシミュレーション結果(図 7)を見てみると、シミュレーション開始から 1 分経過後には、ホール出入口およびエスカレータの乗り口付近において避難者の滞留が確認できる。2～3 分経過後には、ホール出入口の滞留は完全に解消されるが、階段の上り口付近に新たな滞留が発生するとともに、エスカレータの乗り口付近における滞留が顕著化する。その後、避難者の滞留規模は徐々に縮小していき、7 分経過後には大多数の避難者が最終目的地に到着することとなる。

一方、段階的避難の場合のシミュレーション結果(図 8)を見てみると、エスカレータ乗り口および 2 階施設出入口付近で小規模な滞留は発生するものの、概ねスムーズな歩行者交通流が実現されていることが確認できる。

4. おわりに

本稿では、大規模展示ホール施設を対象とした災害発生時の群集避難行動において、歩行者の安全性が危惧される高密度歩行者流あるいは歩行者の滞留現象の発生を低減させる方法として、避難開始時間を区域ごとに調整する段階的避難の有効性を定量的に明らかにした。

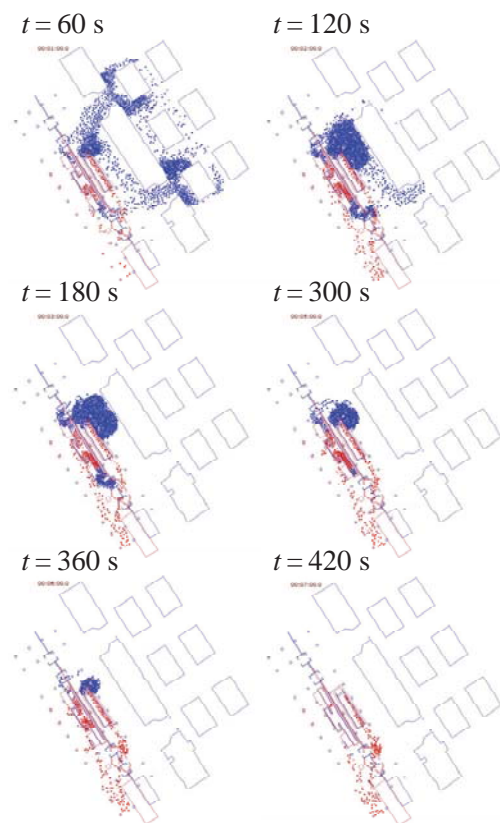


図 7 一斉避難における群集流動. 歩行者数 1512 人。

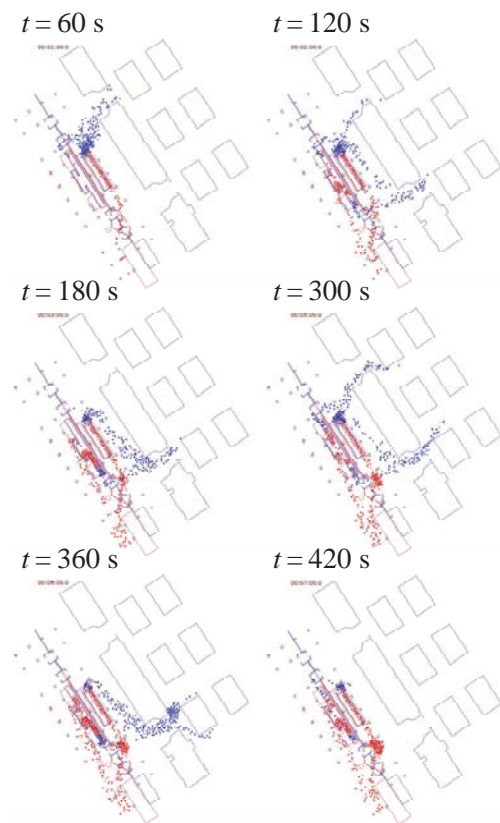


図 8 6 段階避難における群集流動. 避難開始遅れ時間 60 秒,
歩行者数 1512 人。

今後は、シミュレーション対象領域を展示ホール施設全体に拡張し、展示ホール内の在館者約 2 万人を対象とした群集避難シミュレーションを実施する計画である。シミュレーション結果を用いて、避難誘導計画をより良いものにするための施設管理者との協働的な検討を進め、安全・安心による施設価値の一層の向上を目指せればと考えている。

謝辞

本研究は、文部科学省ポスト「京」萌芽的課題 2「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究(多層マルチ時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発)」の元で実施したものです。また、本研究は JSPS 科研費 JP17K00328 の助成を受けたものです。

参考文献

- [山下 11] 山下倫央, 副田俊介, 大西正輝, 依田育士, 野田五十樹:“センサデータマイニングを活用した安全安心な避難誘導への取組み”, 電子情報通信学会誌, vol.94, no.4, pp.294-298, Apr., 2011.
- [岡田 11] 岡田尚子, 長谷見雄二, 森山修治, 岡本衣未:“エスカレータを用いた上方避難に関する実験研究”, 日本建築学会環境系論文集, vol.76, no.668, pp.855-862, Oct., 2011.
- [西川 17] 西川憲明, 廣川雄一, 山田武志, 印南潤二, 浅野俊幸:“大規模展示ホール施設を対象とした群集避難シミュレーション”, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2017 (JAWS2017) 予稿集, 2017.