

12. 大規模屋内施設からの避難シミュレーション

中村栄治・小池則満

1. はじめに

入学式や卒業式において、学部生、大学院生、保護者、そして学内関係者を合わせると2,500名に近い人々が愛知工業大学の体育館（鉦徳館）に集う。毎年11月に全学規模で避難訓練 [1] が行われているが、鉦徳館から多数の人々が一斉に避難する訓練は行われていない。円滑に避難が果たしてできるのか否か、避難完了までにはどの程度の時間が必要になるのかなど、疑問は尽きることはない。本研究では、交通シミュレータ [2] を使い、入学式において出席者全員が一斉に避難する想定でシミュレーションを行った [3]。

2. 3Dモデルの作成

Vissimにおいては、3次元空間でヒトモデルを動作させてシミュレーションを行うため、鉦徳館の3Dモデルを作成する必要がある。鉦徳館の3Dモデルは主に竣工図を基に作成したが、螺旋階段の蹴上（1段あたりの高さ）や踏面（1段あたりの奥行）の寸法などを竣工図からは読み取れないこともあり、階段をステレオ写真計測機BLK3 [4] で計測し、螺旋階段の形状を特定する必要がある。図1左は3階の観客席にアクセスするための螺旋階段を3階から2階へと見下ろして撮影した写真である。鉦徳館にはこのタイプの螺旋階段が建物の四隅に設置されている。螺旋階段の3Dモデルが図1右である。4～5段ほどで踊場になり、踊場で直角に曲がる構造になっている螺旋階段である。シミュレーションにおいて階段の手すりの有無はヒトモデルの移動には影響を与えないため、階段の手すりの3Dモデル化は省略した。

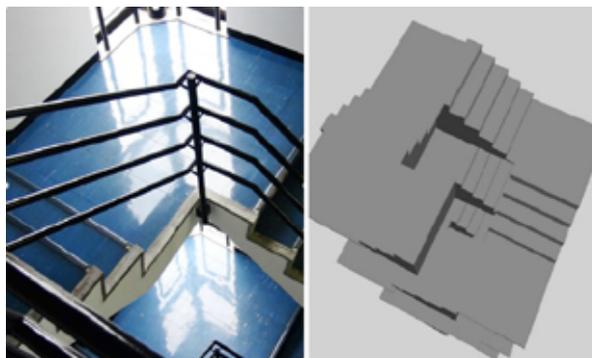


図1 実際の階段（左）と3Dモデル（右）

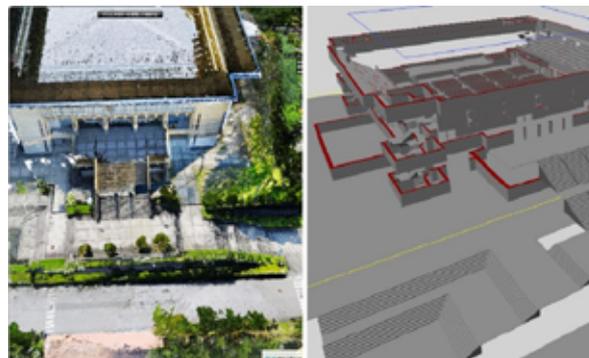


図2 写真データ（左）と3Dモデル（右）

鉦徳館は周囲に比べ高くなった土地に建設されているため、鉦徳館にアクセスするために北側に階段が設けられているが、竣工図には記載されていない。そのため、竣工図以外からの情報を基にして北側に設置された階段を作成した。具体的には、鉦徳館を含めた周辺領域をUAVから写真撮影して得られた点群データ [5] (図2左) を利用した。写真点群データは3次元座標値 (x, y, z) と輝度値 (r, g, b) からなる6次元ベクトルの集合体であるが、3次元座標値がグローバル座標（日本平面直角座標第VII系 [6]）で表されている。したがって、任意の点間の実際の距離や角度を、現場に行くことなくコンピュータ上で目的とする点を選択するだけで知ることができる。図2左を使い、北側の階段ばかりでなく周辺のコンクリート造作物や道路の3次元モデルを作成することができた（図2右）。

3. 入場時における動線

鉦徳館2階と3階の平面図を図3に示す。鉦徳館への入場時には、全員が鉦徳館2階に設置されている北側の外扉から入る。学生は3つの内扉（E1～E3）を通り2階アリーナへと向かい、そこに準備されている椅子に着席する。保護者は螺旋階段S1とS2を使い、2階から3階へと移動する(図3左の矢印)。3階に到着すると、それぞれの螺旋階段から東面、西面、北面の3か所に設けられている観客席A1～A3へと向かう(図3右の矢印)。3階の南面は2階ステージの真上なるため観客席は設けられてはいない。

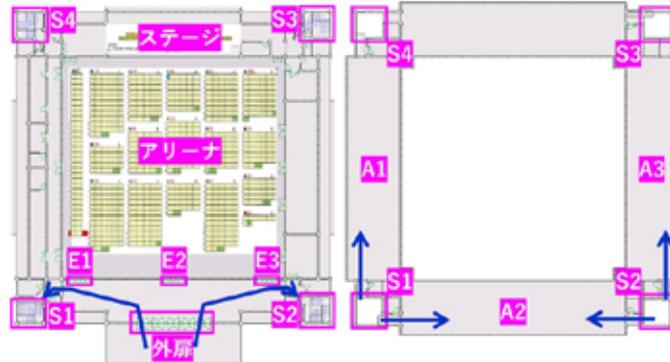


図3 鉦徳館の2階(左)と3階(右)における入場動線

4. 避難経路が偏った場合

入学式が行われている時に、何らかの理由で全員が一斉に鉦徳館から外へ避難せざるを得なくなった状況を想定し、避難シミュレーションを行った。観客席の保護者は入場時とは逆の経路をたどって鉦徳館外へと避難することを想定した。具体的には、観客席から螺旋階段S1とS2へと向かい(図4右の矢印)、2階に下りると外扉を経て外部へと出ていく避難経路である(図4左の矢印)。学生はアリーナから外扉に最も近い内扉E2のみから鉦徳館外へと避難する状況を想定した。

これらの想定に基づきシミュレーションを行った。図5左上と右上は螺旋階段S1とS2での避難の様子である。一斉に保護者が観客席から2つの螺旋階段に殺到するために、階段の降り口で深刻な滞留が発生していることがわかる。図5下に示すように、アリーナから学生が内扉E2に集中しているため、ここでも大規模な滞留が発生していることがわかる。全員が鉦徳館外へ避難できるには約17分かかることがシミュレーションに明らかになった。

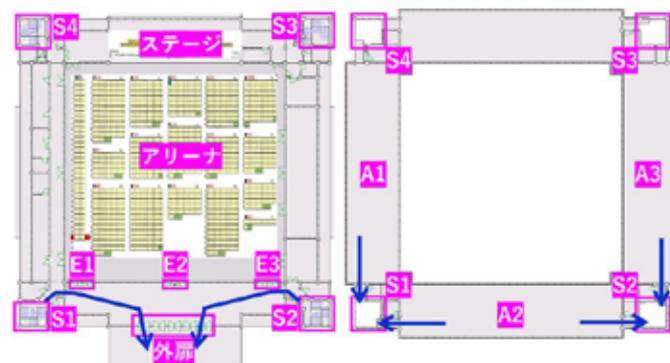


図4 2階(左)と3階(右)における避難経路



図5 避難の様子（避難経路が偏った場合）

5. 誘導により避難経路が分散する場合

4節で示したように、特定の経路に避難者が殺到することにより滞留が発生して円滑な避難が阻害され、避難時間が延びてしまうことになる。避難経路を分散させることで円滑な避難が実現できるか否かをシミュレーションにより検証した。図6右において、観客席からの避難経路を矢印で示している。4つの螺旋階段（S1～S4）へと均等に保護者が避難するように誘導する。3階から1階へと螺旋階段を使い、1階の出口（図6左のE4とE5）を通過して鉦徳館外へと避難する。学生については、アリーナから内扉E2に集中するのではなく3つの内扉（E1～E3）に分散するように誘導し、鉦徳館外へと避難する。

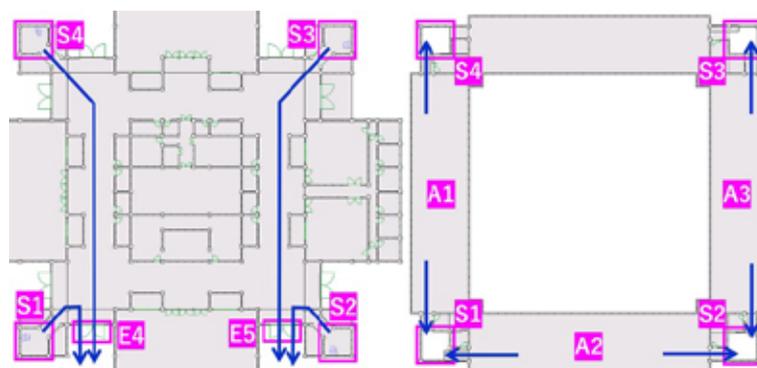


図6 1階（左）と3階（右）における避難経路

図7の左上と右上は螺旋階段S1とS2における避難の様子である。3つの観客席（A1～A3）から4つの螺旋階段（S1～S4）へと保護者が分散することにより、螺旋階段降り口での滞留の規模が図7の左上と右上に比べ大幅に縮小していることがわかる。図7下はアリーナから内扉を通過して避難する学生の様子である。中央に位置する内扉E2に集中するのではなく両端の内扉（E1とE3）も利用して避難することにより、図5下で見られた激しい滞留が解消されていることがわかる。この結果、約12分で全員が鉦徳館外へ避難できることをシミュレーションにより確認した。避難誘導により避難経路が分散され30%（5分）ほど避難時間を短縮できることがわかった。

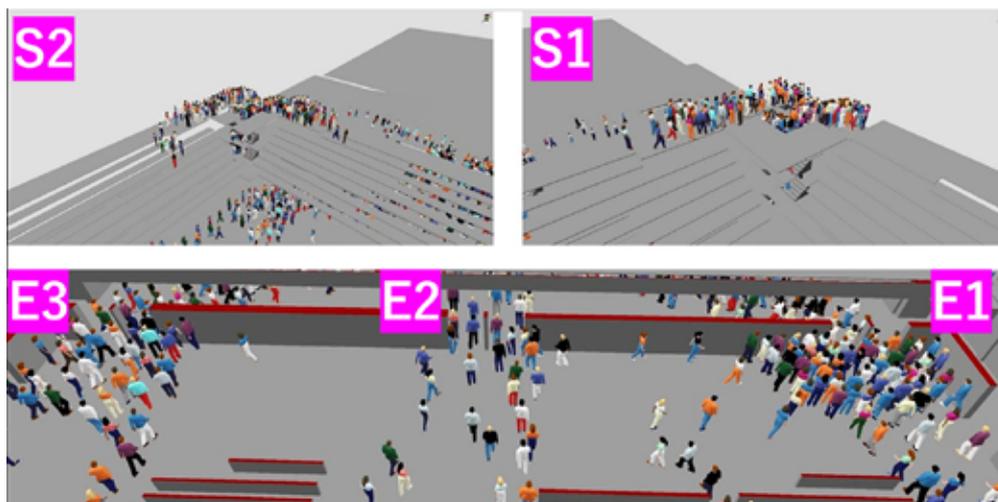


図7 避難の様子（避難経路が分散する場合）

6. まとめ

毎年2,500名ほどの人々が集う愛知工業大学の体育館において、一斉に避難せざるを得ない状況を想定して商用の交通シミュレータを使い、3次元空間内で避難シミュレーションを行った。避難経路に偏りが発生すると、螺旋階段の下り口や扉付近で激しい滞留が発生することがわかった。避難経路が分散するよう誘導を行うことにより、避難時間が30%ほど短縮できることをシミュレーションにより確認した。避難経路の分散により螺旋階段の下り口での滞留を大幅に改善できるものの、螺旋階段をかなりの高密度で下ることになる。将棋倒しなどアクシデントを防ぐために、ゆっくりと降りていくよう避難者を誘導する必要があるかもしれない。シミュレーションのみでなく、実際に体育館での避難訓練を行う必要がある。

参考文献

- 1) 小池則満, 正木和明, 内藤克己, 緊急地震速報の有効性評価に関する研究 ～大学キャンパスにおける避難訓練事例を通して～, 土木学会安全問題研究論文集, pp.71-76, 2007.
- 2) PTV Group : Vissim, <http://vision-traffic.ptvgroup.com/jp/製品/ptv-vissim/> (アクセス2019.12)
- 3) 菊池俊介, 樽山高晃大, 鉦徳館からの一斉避難シミュレーション, 2019年度卒業論文, 愛知工業大学情報科学部情報科学科, 2020.
- 4) Leica:BLK3D, <https://shop.leica-geosystems.com/jp/ja-JP/learn/reality-capture/blk3d> (アクセス2019.12)
- 5) 中村栄治, 山本義幸, 点群による下水管路の可視化システム～維持管理の効率化のために～, 土木学会論文集F3 (土木情報学), Vol.74, No.2, pp.II_71-II_78, 2018.
- 6) 長谷川昌弘, 川端良和編著, 改訂2版, 基礎測量学, 電気書院, 2018.