

## 14. 3次元避難シミュレーションと実際の避難訓練との比較検討

中村栄治・小池則満・山本義幸

### 1. はじめに

愛知工業大学の八草キャンパスでは2006年から年に1回の割合で、全学規模の避難訓練を行っている [1]。避難訓練では授業時間中での地震発生を想定しており、授業が行われている講義棟や実験・実習棟を避難開始地点として、避難先に指定されているサッカー場まで徒歩で向かうことが訓練の目的の一つとなっている。3000名を超える学生が一斉に移動することで大きな人流が生じることが避難訓練の特徴であるが、指定避難場所近辺での人流を交通工学のシミュレータを使い、どの程度まで再現できるかを検討した。

### 2. 実際の避難訓練

#### 2.1 UAV空撮ビデオと訓練参加者の流れ

2016年11月2日に実施された八草キャンパスにおける全学避難訓練の様子を、地域防災研究センターの石黒聡志研究員がUAV（Phantom 4 advanced）を使い高度140mからビデオ撮影した。図1は避難開始後10分ほど経過したときのビデオクリップである。ビデオは4K解像度で撮影されており、訓練参加者が指定避難場所に向けて移動する様子がとらえられていることがわかる。



図1 UAV空撮ビデオからの一コマ



図2 階段S



図3 階段N

大多数の訓練参加者は、図1に示す地点A～Cおよび階段Nと階段Sを矢印の方向に通過し、図1の右上に位置する指定避難場所（サッカー場）へと向う。もう少し詳しく参加者の流れ（人流）について述べると、地点Aと地点Bを通過した人流は主として階段Sを上り避難場所に到達する。階段S（図2）の混雑状況により、地点Aと地点Bを通過した人流の一部は階段N（図3）を經由して避難場所へと向かう。一方、地点Cからの人流は直接避難場所に向かう。階段Sは仕切りにより4つの通行帯に分割されており、階段Nは2つの通行帯に分割されている（図2と図3）。

#### 2.2 人流の推定

UAVは避難訓練開始時間（11時45分）から3分後に所定の場所に到達し、12分間にわたり人流を撮影した。図4は地点Bの人流の様子であり、図5は階段Sにおける人流の様子である。地点Bでは避難路である道路が人流で満たされているのがわかる（図4）。階段Sでは人流が道路から階段へとつながっているのがわかる。



図4 地点B



図5 階段S

UAVによりビデオが撮影された避難開始後3分から15分までの時間帯において、人流のボリューム（人の数）を10名の目視により推定した。表1はそれぞれの地点と階段における人流の推定平均と偏差である。平均値に対する偏差が2%～6%の範囲に収まっているため、この推定結果を基にして避難シミュレーションを行うことにした。

表1 人流の推定結果（12分間の合計）

	地点A	地点B	地点C	階段N	階段S
平均	484人	1732人	227人	555人	1840人
偏差	28人	97人	4人	14人	50人
偏差/平均	6%	6%	2%	2%	3%

避難シミュレーションを行うためには、人流の時間変化も推定しておく必要がある。10名の目視により30秒ごとの人流のボリュームも推定した。図6と図7は地点Aと地点Bにおける人流の時間変化のグラフである。避難開始初期の段階では、訓練参加者の多くが地点Aを通過していることがわかる。避難開始から時間が経つにつれ地点Bを通過する参加者が増えていき、10分台をピークにして13分頃にかけて地点Bを通過する参加者が激減していることがわかる。

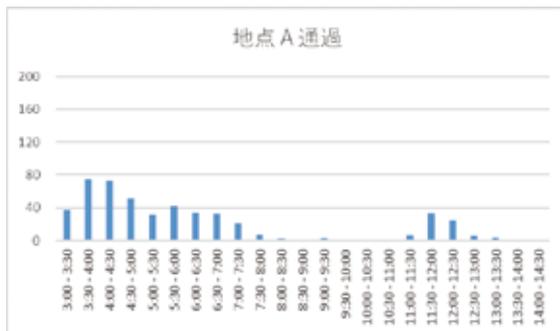


図6 地点Aにおける人流の時間変化

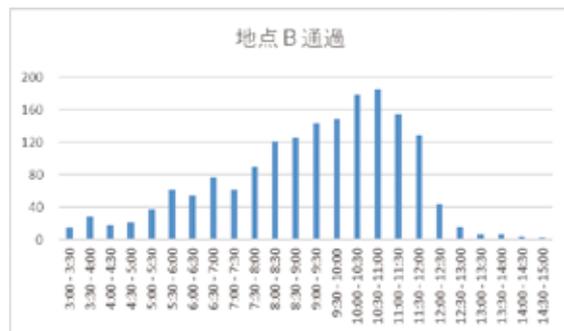


図7 地点Bにおける人流の時間変化

図8と図9は階段Sと階段Nを通過した人流の時間変化を表している。階段Sは避難場所へ到着するための主たる通路になるため、避難時間全体にわたりコンスタントに人流があるのがわかる。一方、階段Nは階段Sに比べて幅が狭いため訓練参加者が階段Nを経由して避難場所に行くことは少ない。

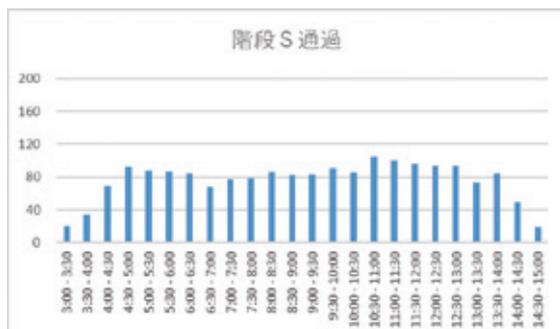


図8 階段Sにおける人流の時間変化

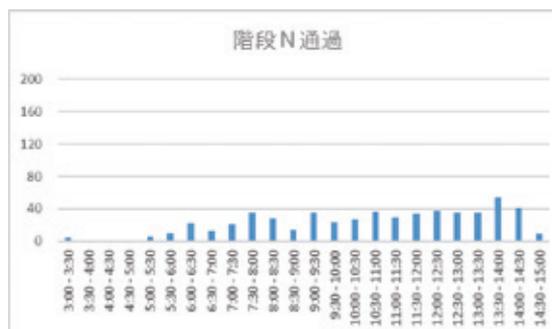


図9 階段Nにおける人流の時間変化

避難開始6分後ぐらいから階段Nを経由する人流が見られるようになる。これは、階段Sが人流で込み合ってくることにより、階段Sではなく階段Nを経由することを選択する者が出てくるためである。図10は、この状況を示すビデオクリップの一例である。地点Bを通過した人流が階段Sへ向かう者を主としながらも、階段Nへと向かう人流が形成されていることがわかる。

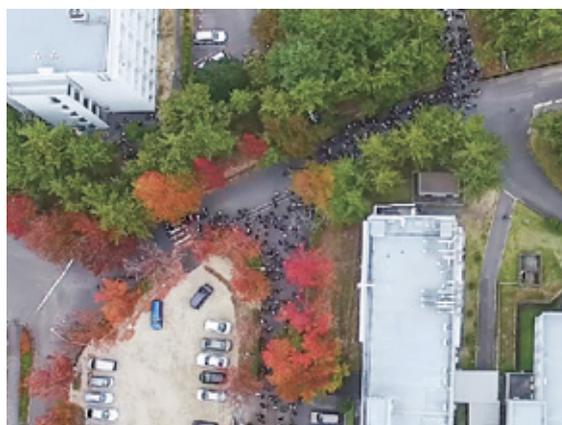


図10 人流の分岐（12分経過時）

### 3. 3次元避難シミュレーション

#### 3.1 八草キャンパスの3次元モデル

UAVによる空撮で得られた写真からの点群データ[2]と徒歩による撮影で得られた写真からの点群データ(図11)を基にして、図12に示す3次元モデルを作成した。点群データからメッシュによるサーフェスモデルを生成することは可能であるが、点群データに含まれるノイズによりスムーズなモデルを作ることは困難である。3次元シミュレーションを行うためには、スムーズなモデルが必要となる。本研究では、人手により点群データ上の道路やグラウンドなどの輪郭をトレースすることにより、スムーズな3次元モデルを作成した。



図11 写真点群データ

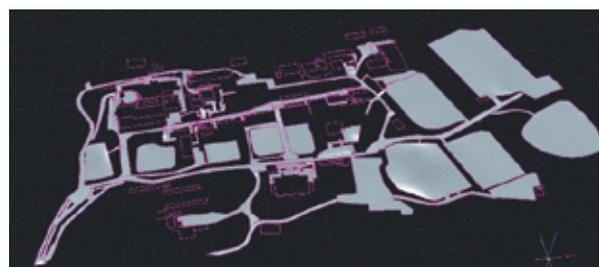


図12 3次元モデル

### 3.2 ヒトモデルの動作

避難シミュレーションは交通工学シミュレータViswalk [3]を使用した。Viswalkではsocial force model [4]に基づいてヒトモデルの動作を種々のパラメータにより決定することができる。例えば、8近傍に位置する他のヒトモデルとの相互作用や、他者にどの程度追従して移動するかをパラメータで設定することができる。さらに、ヒトモデルの発生場所と移動先を指定するとともに、経路場所も設定することができる。ヒトモデルが発生する頻度を秒単位で変化させることも可能である。

### 3.3 シミュレーション結果

人流の推定結果を基にしてヒトモデルが地点A～Cから発生するようにしてシミュレーションを行った。図13に避難開始から4分経過したときのシミュレーション結果を示す。地点Aと地点Bからの人流はすべて階段Sに向かっていることがわかり、実際の避難訓練の様子と一致している。図14に12分経過したときのシミュレーション結果を示す。図10に示したように、実際の避難訓練で人流が2つに分かれていたことがシミュレーション結果（図14）にも表れていることが確認できる。しかし、人流の分かれ方が両者では異なっており、シミュレーションでのヒトモデルが移動する経路の設定に工夫を凝らす必要があることがわかった。

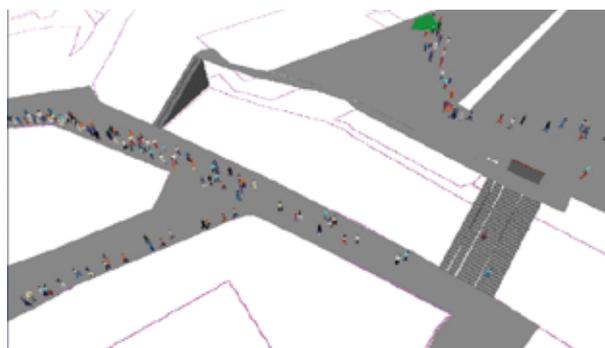


図13 シミュレーション結果（4分経過時）

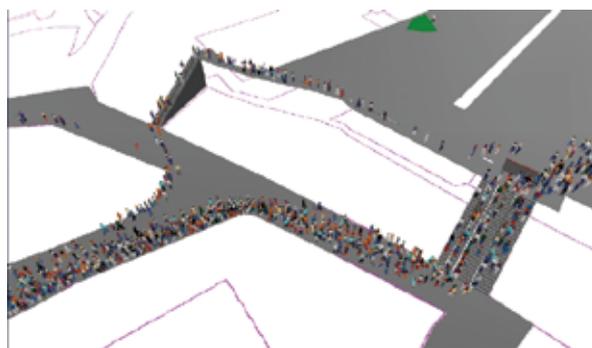


図14 シミュレーション結果（12分経過時）

## 4. まとめ

八草キャンパスでの全学避難訓練の参加者により形成される指定避難場所近辺での人流について、交通工学シミュレータによりシミュレーションを行った。避難場所への入口となる階段での混雑度合いが高まると、人流が分岐して他方の階段へと向かう人流が発生する様子をシミュレーションである程度は再現できることを確認した。分流の再現性を高める検討が必要であることも確認した。

今後の課題は、(1) 避難開始場所（講義棟や実験・実習棟）から避難場所へと通じるすべての避難ルート上での人流をシミュレーションすること、(2) 避難ルート上で通行を妨げるような事象が生じた場合、どのような人流となるかをシミュレーションすることである。

### 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) 中村栄治, 小池則満, 山本義幸, 3次元ベースマップによる学内避難経路の量的評価, 愛知工業大学地域防災研究センター年次報告書, vol.12, pp.73-76, 2015.
- 3) PTV Viswalk, <http://vision-traffic.ptvgroup.com/jp/製品/ptv-viswalk/>, 2018年4月アクセス.
- 4) D. Helbing, Social Force Model for Pedestrian Dynamics, Physical Review E, vol. 51, no.5, pp.4282-4286, 1995.