2015 年度　報告書予稿

混雑回避のための出口選択行動を伴う セルオートマトン法による歩行者シミュレーションの精緻化

栗田研究室　森本陽

1.背景と目的

建築空間内で発生した火災や浸水から逃れるため，歩行者は必ずしも最寄りの出口を選択するのではなく，最寄りにはないがより混雑していない出口から早く避難したいと考えることもあるだろう．これまでにもそのような心理を歩行者モデルに導入した研究は行われてきたものの，その妥当性と，避難効率に与える影響に関して，十分に検証はされてこなかった．そこで，本研究では従来のモデルよりも精緻化された“混雑を考慮して出口を選択する心理”を歩行者モデルに導入する．そして，混雑を考慮して出口を選択する歩行者の行動が避難効率に及ぼす影響を考察する．最後に，結果をもとに立案する防災避難計画の一例を示す．

2.基本モデル

シミュレータはセルオートマトン法を用いて構築する．空間は歩行者 1 人分が存在できる 1 辺 0.4m の正方格子で分割する．歩行速度はv=1.00m/s，そして他者を認識できる範囲は自分を中心とした 6m と設定する．

歩行者はセル間を移動する．移動先としてのセルの集合を現在いるセルと隣接する 8 セルとする（ムーア近傍$M=\{(x,y)|(x,y)$はムーア近傍のセルの番号$\}$）．各セルは，出口からの距離や混雑度合いなどによって移動先としての魅力度が異なる．この魅力度$V_{i,j}$は，出口から移動するために最短経路から余分に移動する距離$C_{i,j}$，他者への追従に関する状態量$D_{i,j}$，そして混雑度合いに関する状態量$P_{i,j}$にそれぞれ重みを付した総和により求められる．さらに，個人差を表現するため$V_{i,j}$を基に確率的に移動先セル(i,j)を選択する．なお，$\zeta_{i,j}$はセル(i,j)に障害物がある場合，$\eta_{i,j}$はセル(i,j)が認識できている場合，それぞれ 1 をとり，そうでなければ 0 をとる変数である．

$$V_{i,j}=-k_cC_{i,j}+k_dD_{i,j}-k_pP_{i,j}$$

$$p_{i,j}=\frac{\zeta_{i,j}\eta_{i,j}\exp(V_{i,j})}{\sum_{(x,y)}\exp(V_{x,y})},(i,j)\in M$$

3.混雑を考慮した出口選択モデル

歩行者密度によって低下した歩行速度で現在地から出口rまでの最短距離L_rを移動する時間T_rが最も小さい出口rを目的地として選択する．出口rまでの歩行者密度ρ_r^mは，現在認識できる範囲と，それよりも出口rに近く，過去に認識したことがある範囲の情報を兼ね合わせて推測する．歩行者密度ρ_r^mから歩行速度v_rを求めるために，理論的かつ実測によって妥当性があるとされる戸川式[1]を利用する．

$$v_r=\begin{cases}v & (\rho_r^m<N/v)\\ N/\rho_r^m & (\rho_r^m\geq N/v)\end{cases}$$

Nは群集流動係数と呼ばれ，混雑から受ける影響を見積もる大きさを表す指標でもある．

4.結果と分析

3 つのケースでシミュレーションを行った．地下鉄は鉄道会社 T から許可をいただいた範囲でモデル化した．

ケース 1：居室（出口 2 つ・単純な構造）
ケース 2：映画館（出口 4 つ・複雑な構造）
ケース 3：地下鉄（出口 5 つ・正確な混雑情報の把握が困難な構造）

従来の研究では判明していなかった，混雑を考慮した出口選択が避難効率に与える影響は次の通りである．

・避難先出口を決めかねて出口に近づかなかった歩行者が遅れて避難するために避難完了時間が長くなる．
・混雑から受ける影響を見積もる大きさによって避難完了時間が大幅に変動する．
・複雑な構造では，混雑を感じやすいために出口へ近づかない歩行者が表れやすく，避難完了時間が長くなる．

これらの結果を踏まえて，避難計画は個々人の判断にゆだねないようなものを提案することが望ましい．

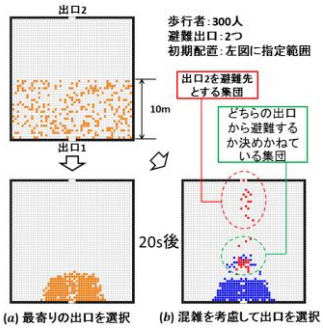

図 1.避難状況の比較（居室）

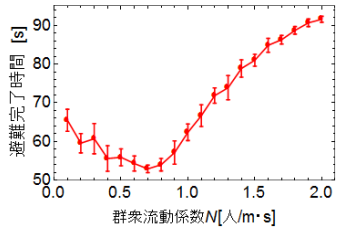

図 2.Nによる避難完了時間の変化（居室）

5.避難計画立案例

各出口からの距離に重み付けした値でボロノイ分割を行い，歩行者の各出口への最適な配分を決定し，避難効率を向上させる．現実では，各出口に色の異なる LED ランプが歩行者を出口まで導くといった方法で実現が可能である．“4.結果と分析”と同様の 3 ケースでシミュレーションを行い，いずれの場合も避難完了時間を短くすることができた．

表 1.適切な歩行者配分における避難完了時間[s](標準偏差[s])

	配分前		配分後
	最寄の出口	N=1.5	
居室	90.57(1.13)	81.00(1.53)	53.97(1.48)
映画館	55.83(0.88)	52.97(1.05)	51.19(0.84)
地下鉄	576.17(11.46)	521.25(4.02)	464.86(4.04)

6.結論

混雑から受ける影響を見積もる大きさによって，混雑を考慮して出口を選択することが避難効率に与える影響が大きく変化する．そのため，個々人の判断に任せる避難計画では実際に避難効率が向上するとは限らない．そこで，最初に避難先出口を指定するなど，個々人の判断にゆだねないような避難計画立案が重要であることが本研究によって示すことができたと考えられる．

7.参考文献

[1]戸川喜久二(1955):群集流の観測に基づく避難施設の研究,建築研究所報告,No.14.