

品質工学的手法を用いたマルチエージェント避難シミュレーションモデルのパラメータ設計

Parameter designing of multi-agent evacuation model using quality engineering

○ 大場汐莉 (富山高等専門学校) 伊藤尚 (富山高等専門学校) 的場隆一 (富山高等専門学校)

橋本優花(福井工業高等専門学校) 五味伸之 (福井工業高等専門学校)

谷賢太郎 (事業創造大学院大学) 前田義信 (新潟大学)

Shiori OBA, National institute of technology, Toyama College

Nao ITO, National institute of technology, Toyama College

Ryuichi MATOBA, National institute of technology, Toyama College

Yuka HASHIMOTO, National institute of technology, Fukui College

Nobuyuki GOMI, National institute of technology, Fukui College

Kentaro TANI, Graduate School of Entrepreneurial Studies

Yoshinobu MAEDA, Niigata University

Abstract: In occurring some disaster, it is important for evacuees to evacuate calmly from the building without being panicked. However, it is difficult to experiment on evacuation from a safety aspect of participants, or from a psychological point of view. In this paper, we presented a multi-agent simulation model which represents agent's evacuation behavior on the virtual space. Furthermore, we designed the parameters by using quality engineering, i.e., by means of getting agent's behaviors to be close to the evacuation observed in the real world.

Key Words: evacuation behavior, Multi-Agent simulation, quality engineering, follow-direction method, follow-me method

1 はじめに

日本では繰り返される災害を教訓に、建物の構造の改善や避難訓練の実施など防災対策が強化されてきた。また、災害対策基本法が制定されてからは、計画的な防災行政が整備されつつある⁽¹⁾。

大規模な災害が発生した際、被害が拡大する要因として建物の損壊や火災等による直接的な一次的被害の他に、建物内に残された群衆が避難する過程で発生する経路の閉鎖や圧死等の二次的被害が懸念されている。この二次的被害を最小限に抑えるためには、適切な避難誘導を行い安全かつ迅速に群衆が避難を行うことが重要な課題として挙げられる。

先行研究として、杉万らは実際に健常者の被験者を対象とし、指差誘導法¹と吸着誘導法²の比較を行い、どちらの誘導法が円滑な避難が可能かについて検証を行った⁽²⁾。実験は、幅8m×長さ75m、出口の大きさが5mの直線的で障害物がない避難経路を対象とし、避難者42名、誘導者8名の計50名で行われた。実験で使われた通路の概要図をFig. 1に示す。誘導者8名のうち4名は指差誘導法により南側出口へ誘導し、残り4名は吸着誘導法により北側出口へ誘導を行い、それぞれの出口から脱出した人数を比較した。杉万らの実験結果をFig. 2に示す。横軸が避難を開始してから経過した時間、縦軸が吸着誘導法及び指差誘導法によって誘導した各々の避難完了した累積避難者数である。グラフの括弧内の値は指差誘導法と吸着誘導法の誘導比率を示す。実験結果から、吸着誘導法に優位性がみられた。

¹誘導者が「出口はこちらです。こちらに逃げて下さい」と大声で叫びながら出口の方向へ上半身全体を使って指し示す誘導法。誘導者自身も出口の方へ移動する。

²誘導者が自身の近辺にいる少数の避難者に対して「自分についてきて下さい」と働きかけ、少数の避難者を実際にひきつけて避難する誘導法。

しかしこの実験では、使用した経路が単純である為、実際に起こりうる避難状況である駅構内やショッピングモールなどの商業施設に存在する複雑な経路においては、誘導法の優位性が逆転する可能性が否定できない。よって、現実に即した複雑な経路における実験が必要であるが、安全面・心理面の観点から実際に大規模な災害状況を模擬した実験を行い検証することは困難である。

そこで本研究では、コンピュータ内の仮想空間内からエージェントを避難させる、マルチエージェントシミュレーションを用いた避難行動モデルを構築することを目的とする。その際に、モデルが実際の避難実験と近い動作をするようなシミュレーションパラメータを、品質工学的手法を用いて設計する。

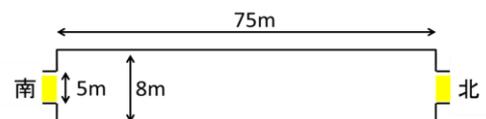


Fig. 1 実実験に用いられた避難経路

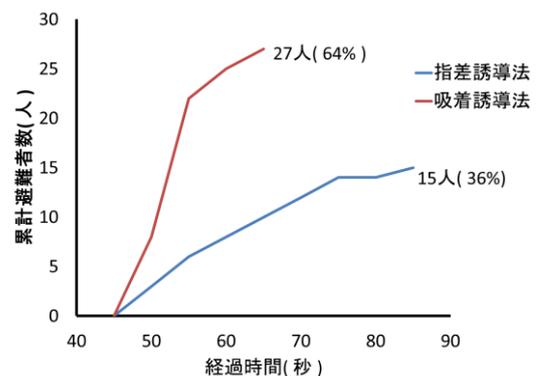


Fig. 2 実実験の結果

2 モデルの概要

2.1 空間のモデル化

本研究では空間格子として最も代表的である二次元空間格子を採用し、先行研究で用いられた空間に模した仮想空間を設定した (Fig. 3). 水色で示された範囲が避難出口, 両端の黒線より内側が避難空間である. 仮想空間のエージェントには誘導者と避難者の2種類が存在し, 黒丸が指差誘導者, 赤色の丸が吸着誘導者である. 碁盤目状の1つのセルに人間が1人が存在できる空間モデルとする. そのため人間の接触領域を考慮しセルの一边を60cmとした⁽³⁾. 移動先はノイマン近傍から選択するものとした.

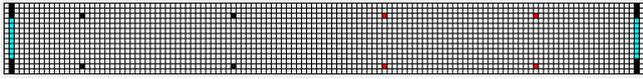


Fig. 3 シミュレーションの初期画面

2.2 エージェントのモデル化

誘導者は自律型で出口を認知しており自身の誘導方法に従って避難出口まで移動を行う. 避難者は追従型で他のエージェントの移動に同調して移動を行う. 選択されたエージェントは視野範囲を用いてエージェント, 避難出口, 壁を判断して行動する. 移動の際, 進行可能かどうかは排除体積効果に従うものとする⁽⁴⁾. すなわち, 同じマスに2人のエージェントは移動できない.

2.2.1 視野範囲の定義

本研究において避難者エージェントの視野範囲とは, 壁, 出口, 他のエージェントの向きを判断可能な範囲として定義する. 視野範囲はFig. 4に示すように視野半径A, 及び視野角Cから成る扇形である.

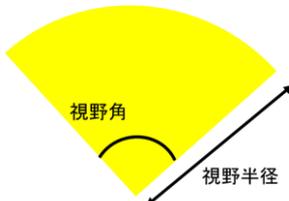


Fig. 4 視野範囲

2.2.2 避難者の行動ルール

追従型は出口を認知しておらず, 下記の優先順位に従って移動する.

- ① 避難出口を自ら発見した場合は出口へ移動を行う.
- ② 誘導者に誘導された場合はその誘導者と同じ避難出口へ移動を行う.
- ③ 誘導されていない場合は, 視野範囲内に存在する他のエージェントの移動ベクトルが最大な方向へ追従する. 例えばFig. 5に示すように, 視野範囲内に右方向へ進むエージェントが1人, 上方向へ進むエージェントが2人, 下方向へ進むエージェントが3人いたとする. このとき視野範囲内に下方向へ進むエージェントが最も多いのでその避難者が進行する方向は下方向となる.
- ④ 誘導されていない, かつ視野範囲内に他のエージェントがない場合はランダムに移動する.

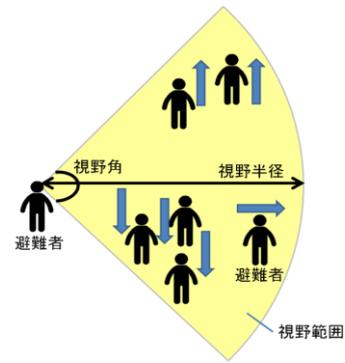


Fig. 5 避難者エージェントの視野範囲

2.2.3 吸着誘導法のルール

吸着誘導法は周囲に存在する避難者を避難出口まで誘導する. 吸着誘導者の視野範囲は避難者と同様に角度 (吸着角度D) と半径 (吸着半径E) で定義される. 誘導された避難者は誘導者と同じ避難出口を目指して移動を行う.

2.2.4 指差誘導法のルール

指差誘導法は大声で叫ぶとともに, 避難出口の方向へ上半身全体を使って指し示しながら誘導する. 誘導された避難者は誘導者と同じ避難出口を目指して移動を行う. 指差誘導法の誘導範囲は, 指差誘導半径Fを半径とした円であり, 指差誘導者の声の届く範囲を示している.

2.2.5 立ち止まる動作

避難者は誘導者に誘導されてから移動を開始するまで立ち止まる動作をとる. 立ち止まるステップ数をパラメータGとして設定した. 吸着誘導法の場合, 誘導者も避難者と一緒に立ち止まる.

2.2.6 エージェントの配置

誘導者は定位置に, 避難者はランダムに初期配置する. 避難者が空間全体にランダムに散らばることにより, 初期位置で避難者の密度が左右される. そのため, 避難者の配置の範囲をパラメータHとして設定する. 避難空間の横の大きさは125マスであり, 避難空間の半分の範囲に避難者を配置したい場合をFig. 6に示す. パラメータHは配置したい範囲の半分の値を入力するので62マス以内と設定する.

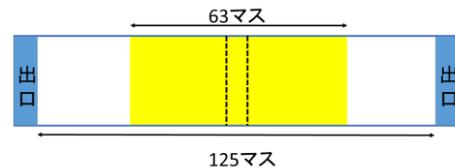


Fig. 6 エージェントの配置の例

2.3 シミュレーションの流れ

本モデルのフローチャートをFig. 7に示す. まず避難者をランダムに, 誘導者を定位置に初期配置を行う. この時に壁, 出口にはエージェントは配置しない. 次にエージェント1人を選択して移動マスを決める. 出口を認知しているとき, 出口に最も近づける場所に移動マスを決めるが, もしそのマスに他のエージェントがいて移動できない場合, 他の避難出口寄りのマスに移動する. 誘導者に誘導を受けているとき, 誘導者と同じ方向へ移動マスを決める. もしその移動マスに移動できない場合, その場に留まる. 避難出口へ到達したエージェントは避難完了となる. 空間内に残された全エージェントが移動マスを決め, 移動を行うことを1ステップとする. 全エージェントが避難完了するとシミュレーションを終了する.

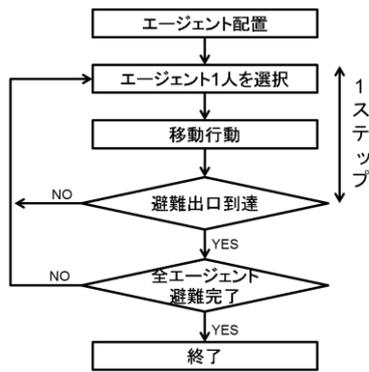


Fig. 7 シミュレーションのフローチャート

2.4 各種パラメータ

本研究のシミュレーションモデルに用いるパラメータは、避難者の視野半径と視野角，吸着誘導者の視野角と視野半径，指差誘導者の誘導半径，立ち止まるステップ数，初期配置の範囲である。避難者の人数，誘導者の人数もパラメータとなりうるが，先行研究の実験条件に揃えるため固定値（避難者42名，誘導者8名）とした。

3 パラメータ設計

3.1 品質工学

本研究では先行研究の結果に対して，シミュレーションモデルのパラメータを検討することで再現性を持たせることを試みる。しかし，パラメータの組み合わせは膨大であり，効率的な実験が必要とされるため，品質工学の直交表を用いてパラメータが結果に及ぼす影響を調べ，より妥当性の高いパラメータ設計を行う。

品質工学とは，技術開発を効率的に行うことで社会的な生産性を上げる技法である。機能性の評価とその改善方法が中心的方法とされている。機能性の評価とは，多くの特性を一つ一つ評価するのでなく，システムの本来のはたらきを評価しようというものであり，パラメータの変化によってそのパラメータがどれだけ影響を及ぼすかについて評価する。実際の機能性の改善には直交表を用いた実験が行われる⁽⁵⁾。

3.2 直交表

本研究ではパラメータが結果に及ぼす影響を調べる方法として，直交表L₁₈実験を用いた。直交表L₁₈実験とは，異なる18通りのパラメータの組み合わせで実験を行うことによって，それぞれのパラメータがシミュレーションに与える効果を要因効果図から求める方法である。設定したパラメータをTable 1，実験の組み合わせをTable 2に示す。実験はシミュレーション内で変更するパラメータ（今後因子とする）を7種類3水準としてTable 1のように設定し，パラメータAからHをTable 2のように組み合わせながら行う。

Table 1 設定したパラメータ (1回目)

因子\水準	1	2	3	4	5	6
A. 避難者の視野半径	8	12	16	20	24	28
C. 避難者の視野角度	100	140	180			
D. 吸着誘導角度	100	140	180			
E. 吸着誘導半径	10	15	20			
F. 指差誘導半径	10	15	20			
G. 立ち止まるステップ数	1	5	10			
H. エージェントの配置	20	30	40			

直交表L₁₈実験の結果求めた要因効果図をFig. 8に示す。横軸が因子の種類，縦軸がSN比である。ここで評価の基準となっているSN比とはばらつきの小ささの尺度であり，SN比が大きいほどばらつきが小さいことを示す。本研究の場合は先行研究の結果を基準としているため，SN比が大きいという事はシミュレーションを繰り返したとしても，先行研究の結果に対してばらつかない，すなわち近い結果が得られることを示している。本研究では繰り返し回数として50回を設定し，シミュレーション結果が先行研究の結果に近く，繰り返しによってばらつきにくくするためのパラメータを選択した。すなわちFig.8において因子の種類ごとにSN比が高い条件，A₃, C₁, D₁, E₂, F₁, G₁, H₃のパラメータを最適条件とした。最適条件と比較するため各パラメータの真ん中の水準のA₃, C₂, D₂, E₂, F₂, G₂, H₂を現行条件とした。

Table 2 直交表L₁₈

列	1	2	3	4	5	6	7
行\因子	A	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3	3	3
4	2	1	1	2	2	3	3
5	2	2	2	3	3	1	1
6	2	3	3	1	1	2	2
7	3	1	2	1	3	2	3
8	3	2	3	2	1	3	1
9	3	3	1	3	2	1	2
10	4	1	3	3	2	2	1
11	4	2	1	1	3	3	2
12	4	3	2	2	1	1	3
13	5	1	2	3	1	3	2
14	5	2	3	1	2	1	3
15	5	3	1	2	3	2	1
16	6	1	3	2	3	1	2
17	6	2	1	3	1	2	3
18	6	3	2	1	2	3	1

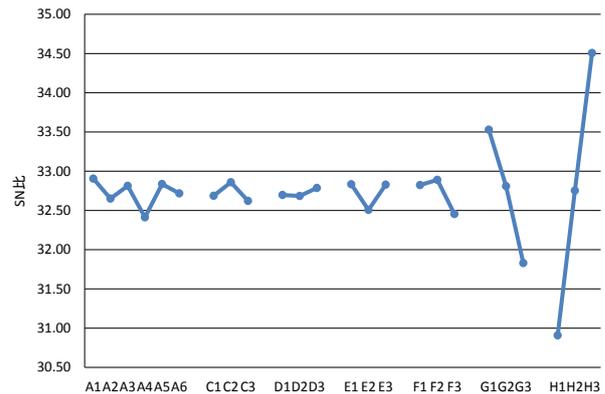


Fig. 8 要因効果図 (1回目)

最適条件と現行条件で50回シミュレーションを行い，5秒毎に平均を求めたものと杉万の実験結果の比較をFig.9に示す。横軸は経過時間，縦軸は指差し誘導法によって脱出した避難者の人数であり，エラーバーは標準偏差を示している。Fig. 9から，現行条件に対し最適条件の方が杉万の結果に近いことがわかる。5秒毎に誤差率を求め，0秒から40秒まで平均を取ったところ，最適条件では平均誤差率が0.487であったのに対し現行条件では0.526であった。このことから最適条件の方が杉万の結果に近いことが確認された。さらに杉万の実験結果に近づけるために，因子の水準を変更して再度実験を行った。

2回目の実験は1回目の実験で出た，SN比が高かったパラメータの値を参考にして水準を決定しシミュレーションを行った。設定したパラメータをTable 3に示す。また，直交表L₁₈実験によって求められた要因効果図をFig.10に示す。横軸が因子の種類，縦軸がSN比である。SN比の値が最も高いパラメータであるA₃, C₁, D₁, E₂, F₁, G₁, H₃のパラメータを最適条件として確認実験に用いた。最適条件と比較するためA₃, C₂, D₂, E₂, F₂, G₂, H₂のパラメータを現行条

件とした。

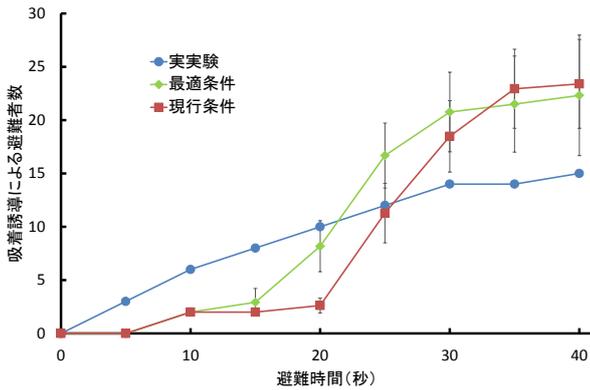


Fig. 9 最適条件との比較 (1回目)

Table3 設定したパラメータ (2回目)

因子\水準	1	2	3	4	5	6
A. 避難者の視野半径	14	15	16	17	18	19
C. 避難者の視野角度	90	100	110			
D. 吸着誘導角度	90	100	110			
E. 吸着誘導半径	8	10	12			
F. 指差誘導半径	8	10	12			
G. 立ち止まるステップ数	1	2	3			
H. エージェントの配置	30	40	50			

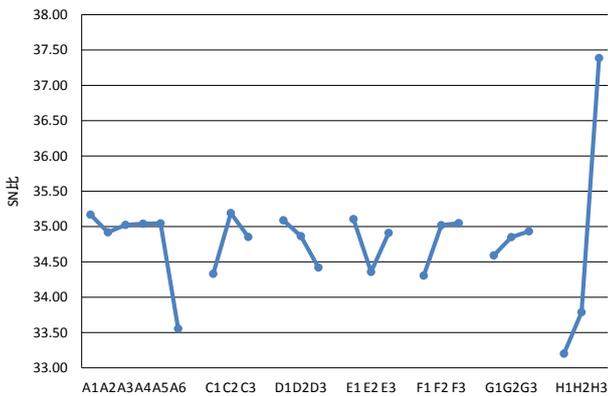


Fig. 10 要因効果図 (2回目)

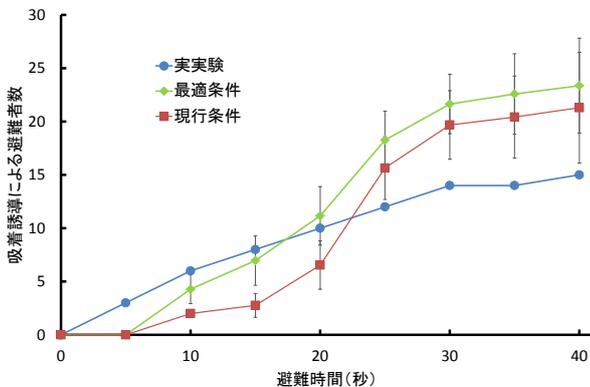


Fig. 11 最適条件との比較 (2回目)

最適条件、現行条件と杉万の実験結果の比較をFig.11に示す。1回目の実験と同様に50回ずつシミュレーションを行った。横軸は経過時間、縦軸は指差し誘導法によって脱出

した避難者数でありエラーバーは標準偏差を示している。Fig 11から、現行条件に対し最適条件の方が杉万の実験に近い結果が得られていることがわかる。平均誤差率は、最適条件では0.419であったのに対し現行条件では0.473であったため、最適条件の方が杉万の結果に近いことが確認された。またFig. 9とFig. 11を比較すると、1回目の実験より2回目の実験の方が、杉万の実験に近い結果が得られていることも併せて確認された。

4 考察

パラメータが結果にどの程度影響を与えるかは、平均値との差分を取ることで求めることができる。差分が大きい程結果に影響を及ぼしているといえる。Fig. 10より、パラメータ A とパラメータ H は SN 比の変化が他のパラメータと比べ相対的に大きいため影響を強く与えていると考えられ、パラメータ A が大きくなると SN 比が下がり、パラメータ H が大きくなると SN 比が上がる傾向が見られた。他のパラメータはこれらと比べてモデルの振舞に影響を与えないと考えられる。

では次に、なぜパラメータ A とパラメータ H が他のパラメータと比べて影響を与えるかについて考察する。他のパラメータは 3 水準に設定したが、パラメータ A は 6 水準に設定することでパラメータの変化が大きくなる。よって SN 比の変化が大きくなったと考えられる。パラメータ H は 30, 40, 50 と、他のパラメータに比べて刻み幅が大きい。そのため、SN 比の変化が大きくなったと考えられる。パラメータ A を小さく、パラメータ H を大きくしていき、飽和する付近で刻み幅を小さくしてパラメータを設定する必要がある。そして、他のパラメータの SN 比の変化が大きくなるパラメータを設定する必要がある。

5 まとめ

本研究では、先行研究の実験結果に近い結果が得られるマルチエージェントシミュレーションモデルの構築を行った。また、先行研究の結果に近づけるため、品質工学的的手法を用いてパラメータの設計を行った。結果として、避難者の視野半径は小さく、エージェントの初期配置を広くすることで先行研究の結果に近づけることが示唆された。

今後の課題として、パラメータ A とパラメータ H の影響が大きかったため、他のパラメータの SN 比が大きく変化する範囲で組み合わせを調査することが挙げられる。

6 参考文献

- (1) 一般財団法人 国土技術研究センター
http://www.jice.or.jp/quiz/kaisetsu_09.html
- (2) 杉万敏夫, 三隅二不二, 佐古秀一, ”緊急避難状況における避難誘導方法に関するアクション・リサーチ (I)”, 実験社会心理学研究, Vol. 22, No. 2, pp. 95-96, 1984.
- (3) E. T. Hall, ”かくれた次元”, みすず書房, 1966.
- (4) 西成 活裕 (著), ”渋滞学”, 新潮社, 2006
- (5) 矢野耕矢 (著), 水谷淳之介 (著), 山本桂一郎 (著), ”初学者のための品質工学 - 技術を理解するために -”, コロナ社, 2013