

マルチエージェントモデルを用いたシミュレーション 瀬戸キャンパス G 棟における避難問題

2007MI070 稲吉敦子 2007MI265 山内まり恵

指導教員：鈴木敦夫

1 はじめに

本研究では、南山大学瀬戸キャンパス G 棟における最適な避難方法について考える。

東海大地震、南海大地震および東南海大地震がいつ起こってもおかしくないといわれているのは周知の事実である。そこで大地震をはじめ、その他の非常事態に備えて、避難経路を見直すことは、人的被害を最小限に抑えるために、大変有意義なことであると考えて、本研究に取り組むことにした。

比較検討するのは次の 2 点。現状の建物の構造から考えられる避難方法、建物の構造を変えることを視野に入れた新たな避難方法である。我々は、複数の人間がそれぞれ複数の経路を用いて避難する様子をシミュレーションするため、マルチエージェントモデルを用いた。今回は、artisoc というソフトウェアを使用し、大鑄史男 [2] の論文の出口と配置を参考にした。

2 問題のモデル化

本研究では、まず、我々が所属する鈴木・腰塚学生合同研究室を対象とした避難シミュレーションを行った。そして、学生研究室においては、その研究室の配置を基本として、G 棟全体の避難シミュレーションを行い、最適な避難方法を導き出すことにした。

以下の図 1 は、G 棟の構造について 3 階の見取り図を例に示したものである。G301 と G302 は学生研究室を、G303 と G304 は講義室を表している。

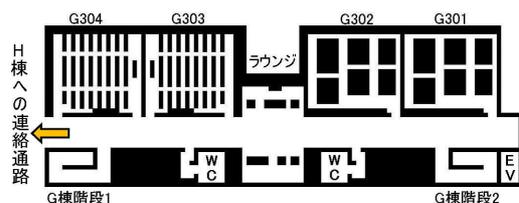


図 1 G 棟 3 階

本シミュレーションにおけるエージェントとは、学内の人物のことである。エージェント 1 つ分が人 1 人分に相当する。シミュレーションモデルを作るにあたって、実際に研究室から避難する実験とアンケートを実施し、行動パターンを分析した。その結果を用いてエージェントの行動を確率的に変動させ、ルールを作成した。

3 マルチエージェントモデルのルールの設定

3.1 エージェントの性質

本シミュレーションにおけるエージェントの性質は、以下の 2 点である。

- (1) 1 つのセルのサイズを 50cm × 50cm とする。これは、人間の平均的な肩幅を表す。
- (2) 1 つのセルの中には 1 エージェントしか入らない。

3.2 エージェントの設定

本シミュレーションにおけるエージェントの設定は、以下の 8 点である。

- (1) エージェントをランダムに配置する。ただし、講義室では指定座席に着席した状態から避難させる。
- (2) エージェントは出口に向かうというルールに従う。
- (3) 上下左右のセルに移動できる。本シミュレーションでは、斜めのセルに移動しないものとする。
- (4) 1 ステップで進むことができるセルは 1 セルである。
- (5) 狭い通路では 1 ステップで 0.5 セル進むことができる。これは、実際に研究室から避難する実験を行ったところ、50cm 未満の通路での歩行速度は 50cm 以上の通路における歩行速度の半分になったことから設定した。
- (6) 自分の進行方向の 1 セル前に、他のエージェントがいた場合は避ける。
- (7) エージェントは必ず障害物を避けて通る。
- (8) エージェントは一定の速度で進む。

3.3 歩行者の速度の設定

火災時の避難者は、当然急いでいるが建築物内の空間は障害物などもある程度考えられるので、平均的には廊下など歩行しやすい空間の場合で、歩行速度は 1.2m/秒を最大限としている [1]。

実際に研究室に所属する学生を対象に実験を行った結果、1 ステップ当たり 0.4 秒に相当した。したがって、本シミュレーションでの歩行速度は 1.25m/秒とする。

ただし、実際の通路幅が 50cm 未満の通路における歩行速度は、通路幅が 50cm 以上の通路における歩行速度の半分であった。よって、この場合は 0.625m/秒とする。

3.4 分岐点における行動の確率

問題を解くにあたってまず最初に、見取り図のモデル化を行い、次に出口までの行動について考えた。全ての人々が必ずしも同一の経路をたどるわけではない。そこで、より正確なシミュレーションを行うために、鈴木・腰塚学生合同研究室に所属している学生を対象としたアンケートを実施した。

次の図 2～図 5 は、アンケート結果から得られた分岐点における行動の確率を図で表したものである。色のついた矢印は分岐点での分岐方法を表し、見取り図の下部分にある数字は矢印の行動をとる確率である。白で表さ

れた矢印は、その通路では必ず矢印の向いている方向に進む。避難パターンは以下の4パターンである。

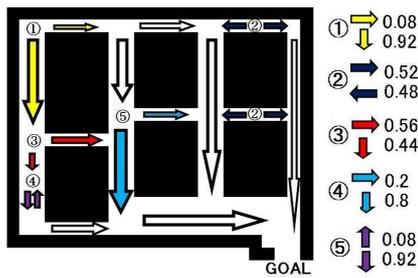


図2 行動確率(右側のドアを使用)

図2は、右側のドアを使用した場合の避難パターンである。右側のドアは出入り口として日常的に使用されている。ドアの幅は1~2人が同時に通ることができる幅であると想定する。

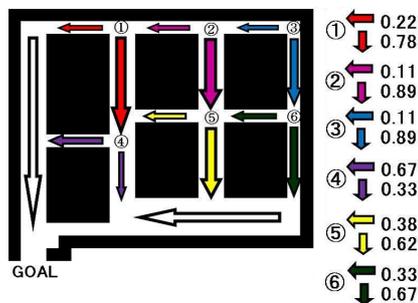


図3 行動確率(左側のドアを使用)

図3は、現在利用できるドアを変更し、左側のドアを使用した場合の避難パターンである。左側のドアはもともと設備されているが、内側からの解錠手段がないため、現在は使用不可能である。本シミュレーションでは、左側のドアを利用できると仮定する。

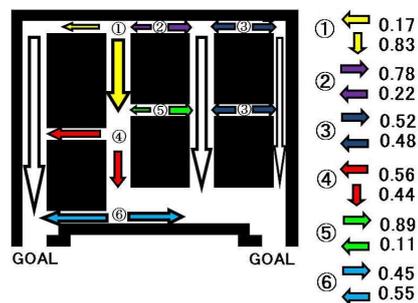


図4 行動確率(両端のドアを使用)

図4は、研究室に設備されているドアを両方使用した場合の避難パターンである。この場合、建物の構造を変える必要はないが、左側のドアは緊急時に内側から容易に開けられるようにするか、普段から左側のドアを利用できると仮定する。

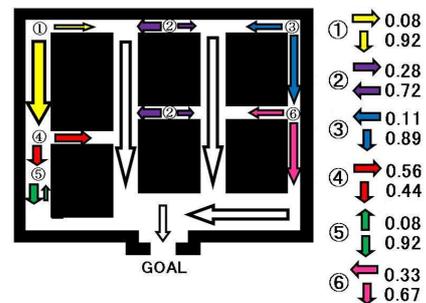


図5 行動確率(中央にドアを設置)

図5は、建物の構造を変えた場合に考えられる避難パターンである。壁の中央にドアを設置することで、出口に到達するまでの最大距離を最小にできるため、短時間での避難が可能になるのではないかと考えた。

4 シミュレーション実行結果(1)

学生合同研究室を対象としたシミュレーションの結果を以下に示す。

学生数を50人から10人ずつ減少させるシミュレーションを10回ずつ行った。グラフはその避難終了時間の平均を表したもので、縦軸に避難にかかった時間、横軸に人数を表している。

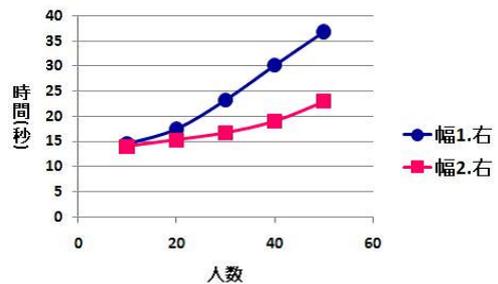


図6 右側のドア使用(ドアの幅:幅1・幅2)

図6は、右側のドアから避難した場合の所要時間を示したグラフである。ドアを同時に通れる幅を1人にした場合と2人にした場合の比較を行った。その結果、30~50人の間での所要時間は、2人分のドア幅が1人分のドア幅の半分であった。20人以下の避難では1人分のドア幅も2人分のドア幅も大きな差が見られなかった。つまり、20人以下のときは無理に2人でドアを通る必要はなく、むしろ1人ずつに余裕を持って順番に通った方がドアの前での転倒の予防ができ、かえって安全である。このことから少人数での避難では冷静に対処する必要があることがいえる。逆に今回のような小さな室内では人数が増えるにつれ、少しくらい無理をしてでも部屋から出た方が良い場合もあることも判明した。

両端のドアを使用した場合についても同じような結果になった。

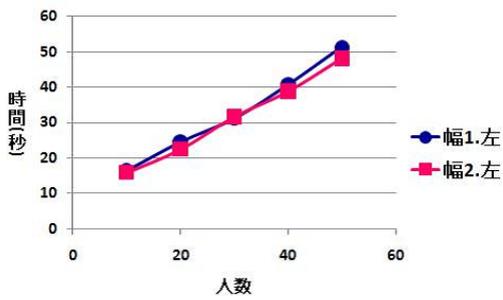


図 7 左側のドアを使用 (ドアの幅: 幅 1・幅 2)

図 7 は、左側のドアから避難した場合の所要時間を示したグラフである。ドアを同時に通れる幅を 1 人にした場合と 2 人にした場合の比較を行った。ドアの幅に関係なく、避難にかかる時間は等しくなった。なぜなら左側のドア付近にある狭い通路でつまってしまうからである。このことから、狭い通路付近では幅の広いドアを設置しても効果はないことがいえる。

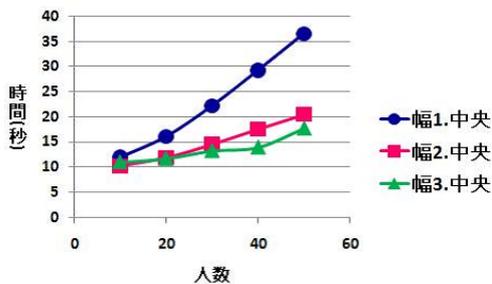


図 8 中央にドアを設置 幅 1・幅 2・幅 3

図 8 は、壁の中央に設置されたドアから避難した場合の所要時間を示したグラフである。ドアを同時に通れる幅を 1~3 人にした場合の比較を行った。その結果、20 人以上のときドア幅を 1 人分から 2 人分の幅に増やした場合、避難時間の大幅な短縮がみられた。しかし、ドア幅を 2 人分から 3 人分にした場合は、2 人分にした場合とほとんど変わりはない。したがって、この場合は大きな効果は期待できない。そのため、研究室に新しくドアを設置し直す場合は 2 人幅のドアがよいと考えられる。

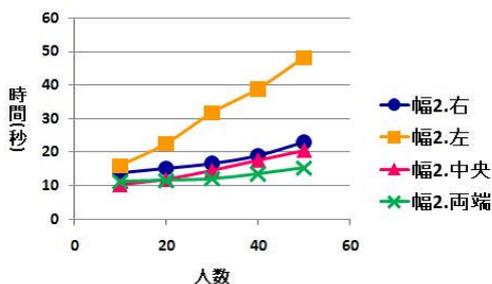


図 9 幅 2 の比較

図 9 は、それぞれの避難パターンで求めた最適な幅を比較したグラフである。比較すると、20 人以下において右側・中央・両端にドアを設置した場合での避難時間に大きな差は見られない。しかし、30 人以上においては、所要時間が最も短い避難パターンは両端のドアを使用した場合である。人数を更に増やしてシミュレーションを行っていくと、避難時間の短縮効果がより期待できるが、学生研究室に 50 人以上配属されることはまずないので、50 人以上のシミュレーション結果は必要ないと判断した。以上のことから、学生研究室の最適な避難方法は両端のドアを使用した場合である。

5 シミュレーション実行結果 (2)

学生合同研究室において行ったシミュレーションを基に、G 棟全体のシミュレーション結果を以下に示す。

また、より精度を高めるために、実行を 100 回行った。最初に比較検討したのは、以下の 3 点である。

- (1) 現状：講義室において、後方のドアから出る学生が多いため、後方のドアから避難するエージェントを多めに設定した。
- (2) 中央優先とした避難方法：講義室において、教員の指示で二手に分かれて、前後のドアから避難させることを想定した。
- (3) 学生研究室の最適な避難方法：学生研究室のシミュレーション結果を踏まえて、出口は 2 か所設け、前述の教員の指示により、二手に分かれて避難させることを想定した。以降は最適提案として述べていくこととする。

表 1 は、(1)~(3) において教員を含めた最大人数、967 人で避難した場合のシミュレーション結果である。講義室においては、講義中を想定し、着席している状態から避難を開始する。最終的には G 棟 1 階の 3 か所の出入口から避難していく。

表 1 967 人避難した場合

	現状	中央優先	最適提案
平均ステップ数	568	563.54	562.61
分散	75.9798	73.01859	41.99788
標準偏差	8.716639	8.545091	6.480577
最大ステップ数	585	590	580
避難時間 (秒)	227	225	225

全員が避難完了するまでにかかった時間はおよそ 3 分 45 秒である。最適提案では、学生研究室の出口を 2 か所に設けたにもかかわらず、3 点とも避難時間に大きな差は見られなかった。効果が得られなかった原因は、G 棟 2 階の階段付近と G 棟 3 階の階段付近でボトルネック状態が生じていたためだと考える。

そこで、階段での混雑を緩和させるために、G 棟と繋がっている H 棟の各階の階段を使用することを想定したシミュレーションを行った。使用する階段の決定は、講義室から出たとき、あるいは階段の混雑状況に応じて決める。

以下に、4階のG-H棟の連絡通路を表した図を示す。階段はG棟およびH棟合わせて各階に3か所ある。2~3階の連絡通路についても同じ構造である。H棟の階段を利用して避難した人は、H棟1階の出入り口から出ていくと想定するため、出口は計4か所となる。

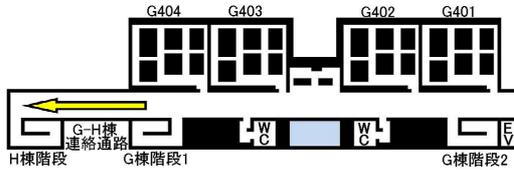


図 10 G-H 棟の連絡通路

避難時間がどれほど短縮するかを検証するために、全体の25%の人がH棟の階段を利用して避難した場合を想定した。

全講義室および学生研究室から最大人数で避難した場合の結果は以下のとおりである。

表 2 967人避難した場合

	現状	中央優先	最適提案
平均ステップ数	476.17	468.94	464.86
分散	93.65768	114.8651	105.0105
標準偏差	9.67769	10.71751	10.24746
最大ステップ数	496	497	491
避難時間(秒)	190	187	185

G棟とH棟を合わせた3か所の階段を使用することで、表1の避難時間より約40秒短縮された。階段付近でのボトルネック状態は皆無ではないが、停滞時間は短くなり、混雑は緩和された。この結果から、避難する際は階段が多い程、避難時間が短くなるうえに最適提案の効果がより期待できる。また、全体の何割の人がH棟の階段を利用するとよいかを検証するために、最適提案において全体の20%と30%の人がH棟の階段を利用して避難した場合の結果を以下の表3に示した。

表 3 全体の20・30%の人がH棟の階段を使用した場合

	20%	30%
平均ステップ数	487.47	465.1
分散	83.20111	246.0303
標準偏差	9.121464	15.68535
最大ステップ数	507	502
避難時間(秒)	194	186

以上の結果より、全体の25%の人がH棟の階段を利用した場合と全体の30%の人がH棟の階段を利用した場合の避難時間はほとんどかわらない。しかし、30%の場合、分散が大きいため値の信ぴょう性が低いことがわかる。したがって、全体の25%の人がH棟の階段を利用すると避難時間が短縮されると予想できる。

そこで、発想を変えて、今度は最適提案において、H

棟の階段は使用せず、G棟の階段2か所を使用し、階段の幅を4人分と5人分に広げた場合を検証してみた。現状では、階段を同時に通行可能な人数は3人である。以下に、現在の階段の幅3人分と階段の幅を4人分に変更した場合と5人分に変更した場合の結果を示した。

表 4 階段の幅を変更した場合

	現状	幅4人	幅5人
平均ステップ数	562.61	461.8	435.36
分散	41.99788	53.29293	30.29333
標準偏差	6.480577	7.300201	5.503938
最大ステップ数	580	482	448
避難時間(秒)	225	184	174

最適提案において、階段の幅を4人分にした場合の避難時間は現状より約1分短縮した。つまり、H棟の階段を利用した場合と同等の効果が得られたということになる。また、階段の幅を5人分にした場合、階段での混雑は少々緩和されたが、1階の出入り口付近で混雑してしまい、幅を3人分から4人分にした場合のような時間短縮にはつながらなかった。階段の幅を大きくする場合は、合わせて1階の出入り口の幅を大きくする必要があると考える。

6 おわりに

本研究では、マルチエージェントモデルを用いて、学生研究室とG棟全体の避難シミュレーションを行った。その結果、学生研究室における最適な避難方法は、研究室のドアを2つ設けた場合であると判明した。また、少人数の場合では、ドア幅に関係なく避難時間は等しくなり、混雑による転倒を避け、安全に避難を行うか、時間を優先させるかの冷静な判断が必要である。

G棟全体における最適な避難方法は、H棟の階段を使用することである。特に、H棟の階段へは全体の25%を避難させると、時間短縮に効果があることが判明した。建物の構造を変える場合は、階段の幅を現在の幅から1人分増やした4人分にするのが最適な避難方法であるという結論に至った。階段の幅を増やすと、G棟の階段だけでH棟の階段を使用した場合と同等の効果が得られる。しかし、階段の幅をさらに増やしていくと、1階の出入り口がボトルネックとなってしまう、避難時間は幅が4人分のときと変わらない。そのため階段の幅を見直す場合、合わせて出入り口の幅や個数を見直す必要がある。

今後は、精密なアンケートとともに、エージェントの人数と動きをより現実に近付けることが課題である。

参考文献

- [1] 兼田敏之：artisocで始める歩行者エージェントシミュレーション。構造計画研究所，Vol. 1，No. 1，2010，pp. 1 - 197。
- [2] 大鑄史男：セルオートマトン法による避難流動のシミュレーション。日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌，第51巻，2008，pp. 94 - 111。