マルチエージェントモデルによるオフィスの全棟避難訓練シミュレーション A simulation of total evacuation drill in office building using multi agent model

> 東城峻樹^{*1} Takaki Tojo

今西美音子^{*1} Mimeko Imanishi 城明秀^{*1} Akihide Jo

^{*1} 竹中工務店 Takenaka Corporation

Evacuation planning is an important issue to estimate cost and safety of buildings in the basic design phase for the architectural design. Building safety is evaluated according to evacuation safety verification method, multi agent simulation model and otherwise. However, specialized knowledge about human behavior of the building evacuation is insufficient. In this paper, an evacuation simulation of total evacuation drill in office building using multi agent model is conducted. Moreover, the result of simulation is compared with acquired measurement data of actual evacuation behavior especially for evacuation time and route selections. The route selections of simulation are different from that of actual behavior.

1. はじめに

建築設計において, 避難計画は基本設計プランに関わる重要な課題である.設計実務者においては, 例えば避難安全検証法^[国土交通省 2001]による比較的簡易な計算, あるいは群集流動の可視化が可能なマルチエージェントモデル^[天野 2013](以下, MA モデル)によるシミュレーションなどを実施し, 建物プランの安全性評価を行っている.

一方,現実における建物避難時の人間行動は,未だ不明点 が多い.前述の計算手法を用いて計画を策定する場合も,歩 行速度などのパラメータから避難者の経路選択に至るまで,必 要な数値や行動選択に仮定が含まれることが一般的である.そ のため,各種歩行実験^{例えば[城 2017]}により得られたデータなどを 蓄積し,実際のデータと設定数値などを比較・検証していくこと が設計精度の向上の観点からも重要となる.

本検討では、文献^[今西 2018]に記載の実際のオフィスビルにて 実施された全棟避難訓練を対象に、MA モデルを用いて、ブラ インドシミュレーションを行い、訓練時に取得された実データ(以 下、訓練時データ)、特に避難時間や経路選択を対象に両者 の結果を比較する.ここで、ブラインドシミュレーションとは、避難 者の初期配置など必要最低限のみ訓練時データに基づくパラ メータを考慮するほかは、慣用的に使用する設計仮定などに基 づく状態で、実際の訓練時データを参照せずに計算を実施す ることを指す.

2. 全棟避難訓練の概要

シミュレーションの対象とした全棟避難訓練の詳細は,文献^[今] ^{四 2018]}に記載があるため,ここでは概要のみを示す.取得された 訓練時データの詳細な取得方法なども同文献を参照されたい.

検討対象建物は、地下1階、地上4階建てのオフィスビルで あり、訓練時には執務スペースである1階~3階を対象として屋 内での行動データが得られている.図1(a)~(c)に、対象となる建 物の1~3階の平面図を示す.但し、屋外や直接避難に使用し ない範囲は一部を省略している.訓練時には、図中に示す避 難階段および通路(各階段3か所、通路2か所:□にて表示) に設置されたカメラにより避難行動が記録され、途中経路の行

連絡先:東城峻樹,竹中工務店,千葉県印西市大塚 1-5-1, 080-2454-9143, 0476-47-3050, toujou.takaki@takenaka.co.jp





図 1 対象オフィスの各階平面図

動は取得されていない.ここでは、カメラが設置された階段3か 所および近傍の交差路を通る経路をそれぞれStaircase1~3, Crossing1,2と称す.Crossing1,2間の通路は、避難者のおよその歩行速度を算定するのに利用している.避難者(従業員)は、 図中に示す各階のエリア A~C に計 150 名程度, 在席していた とされ、うち 140 人程度について有効なデータが取得されてい る. なお, 当該建物の用途上の関係から, 通常のオフィスビル (0.125 人/m^{2[国土交通省 2001]})に比べ人口密度は最大で 0.09 人 /m²程度とやや小さい.当日は,天候の影響から調査対象外と していた建物屋外を移動する予定の従業員約50名が、実際に は、屋外から屋内に合流して避難がなされていたことがわかっ ている.これらの避難者は、図 1(a)の⊲より、屋外から屋内へ 合流したと推察され、1F部分の避難行動(後述する表1の 歩行速度など)において、その影響が含まれたデータである点 に注意を要する。図1中に、各エリアにおけるデータ取得人数 を[]で示す.また,訓練時にデータ取得に必要なマーカーの不 設置などで、データ取得がなされていないものの、当日在席し ていたことが確認できたため、シミュレーションでは反映した人 数が異なる場合のみ()で併記する. 避難時には,移動通路や 使用する階段(それぞれ,図中,橙色,黄色で表示)は制限さ れておらず,集合場所である 1F 西側のエリア A(最終目的地) までの経路は避難者が自由に選択している...

3. シミュレーションの概要

前述の全棟避難訓練を対象に、ブラインドシミュレーションを 行う.シミュレーションには、ポテンシャル型の MA モデルを用 いた汎用コード SimTread^[木村 2009]を用いる. SimTread は、目的 地までの距離に基づくポテンシャル値によって進路を決定する。 そのため、本検討では最終目的地(IF エリア A)だけでなく、以 降に示す経路選択仮定に従い、中間目的地を配置する.

以下に, 主なシミュレーション設定を箇条書きで示す。1)については, 文献^[今西 2018]のデータ取得結果に基づき, それ以外は, 避難安全検証法などで考慮するパラメータや慣用的な仮定を採用する。

- 1) 在館者の数は、同訓練時に行われたアンケートを基に、避難 開始時の位置が推定された 148人(マーカー不設置者等を 含む)とする. なお、2 章で言及した屋外から合流した避難 者(50人程度)については、条件設定が困難であることから、 検討対象から除外する.
- 2) エージェントの歩行速度は一律 1.3 m/s とする^[国土交通省 2001].
- 3) 階段エリアは, 歩行速度の制限を設け, 上限速度を 0.78m/s とする^[国土交通省 2001].
- 4) エージェントは、最も近くの避難階段を選択して避難を開始 する(全ての避難階段に同じ重みの目的地を配置する). そ の後、最終目的地を目指す.
- 5) 避難開始時刻 t_{start}は, 避難放送完了と同時と仮定し, その時 点を0秒として, 一斉に避難を開始する.

図2に,代表として対象建物の3F平面のモデル図を示す. 歩行速度への影響を考慮し,執務スペース内の主要な什器は 障害物としてレイアウトする.

4. シミュレーションと訓練時データの比較

ここでは、ブラインドシミュレーションと訓練時データの双方よ り得られた結果から避難時の行動特性を比較する.但し、訓練 時データのうち、同一時刻付近に距離の離れた複数地点でデ ータが存在するなど、データの取得精度が低いと考えられるも のは分析から除外する.

4.1 避難開始エリアと避難時間の関係

図 3(a),(b)にそれぞれ 3F, 2F の各執務エリアから避難開始し た避難者の各階避難完了時間の比較を示す.ここで, 階避難 時間は, 当該階の避難者が階段(図 1, Staircase1~3)に設置さ れたカメラからフレームアウトした時間として定義する. シミュレ ーションにおいても、おおよそ同じとなる到達位置を設定し、計 測する. また、避難時間は、各エリアにおける全避難者の平均 値 μ とする. 更に同図には標準偏差 σ を考慮した $\mu \pm \sigma$ の範囲 を併記する.

同図(a),(b)より,各階とも,訓練時データに比べて,シ ミュレーションは,60~80 秒程階避難までの時間が早い. また,各エリアの避難時間のばらつき±σも、シミュレーシ ョンに比べ,訓練時データの方が大きい.これは,階段へ の到達時間が,避難開始位置のみの差ではなく,実際に避 難を開始した時間や,平均的な歩行速度などが,実際の訓 練時はばらつきが大きいことを示唆している.なお,エリ ア A-C における,それぞれの階避難完了時間の差異は, 双方とも 10~20 秒程度である.但し,避難経路の選択が異 なるため,訓練時データとシミュレーションの避難時間の 傾向は,両者でやや異なる.



図 2 シミュレーションのモデル図 (3F)





表 1 訓練時データによる歩行速度

階数	2F	1F
歩行速度(m/s)	1.4	0.6

図 4 に 1~3F の各エリアから最終目的地までの避難完了時間 の比較を示す. 避難時間は、図 3 と同様に $\mu \pm \sigma$ の範囲を示す.

同図より、3F、2F については訓練時データとシミュレーション を比べると、平均的には、最終避難完了時において、60~100 秒程度の差異があり,各階避難完了時のデータとシミュレーショ ンの差に対し,若干増加する傾向があるものの,各階避難完了 時点での時間差と大きく変わらないまま, 避難完了に至る傾向 が認められる.これより、訓練時データとシミュレーションの避難 完了時間の差異は、初期行動時(階避難時の開始時刻や歩行 速度)の影響が大きいものと考えられる.また,途中の経路選択 は一致しないものの(詳細は後述),各通路や階段での歩行速 度,滞留が発生する箇所は概ね対応していたものと推察される. 表 1 に, 訓練時データにおいて図 1 で示した 1F, 2F 通路 (Crossing1~2)を通過した避難者の平均移動時間から求めた歩 行速度を示す。2F における歩行速度はシミュレーションで設定 した 1.3m/s と比較的近い 1.4m/s となっている. また, 屋外から の避難者(シミュレーションでは非考慮)と Crossing1 にて合流 があったと推察される 1F 通路では、歩行速度が半分程度に低 下している.

図 4 について, 各階ごとに, 全体的な傾向をみると, 避難完 了時間がエリア A<B<C の順に増加しており, 最終目的地から の距離が遠いエリアの方が, 避難にかかる時間が増加する様子 が, 双方とも窺える. また, 3F, 2Fの各エリアとも図 3 に比べ, 図 4 では平均避難時間 μ に対するばらつき σの幅が大きくなる 傾向にある. 階避難時間に大きく関わる初期の行動(避難開始 時間や開始時の歩行速度)で生じたばらつきに加えて, 他の階 の出入り口や交差路などで避難者間の合流が増えることで, 訓 練時データ, シミュレーションとも各エリアの避難完了時間のば らつきが大きくなる傾向がみられる.

4.2 避難経路の選択

ここでは、3章の前提条件によるシミュレーションの経路選択 (最も近くの避難階段を選択)と訓練時データより得られた実際 の経路選択を、各エリアについて比較する.

図 5(a)~(c)に 3F, 図 6(a)~(c)に 2Fの, 各 A~C のエリアにお ける, 避難経路の選択結果を示す. それぞれ, 左図が訓練時 データ, 右図がシミュレーションの結果である. 図中の数値は, 各エリアにおいて, 図1に示した階段(Staircase1~3)を通った割 合(所属エリアの経路選択人数/所属エリアの合計人数)を示す. なお, シミュレーションでは, Staircase1~3 以外の経路を選択し た場合は etc と表記する.

図 5,6(a)より、エリア A に関しては、最終目的地の直上に位置し、執務エリアの両側へ避難階段があることから、概ね、避難開始時点(多くの避難者は自席)から距離の近い避難階段を選択したものと考えられる. そのため、訓練時データ、シミュレーションの結果は概ね対応する. 一方、各図(b),(c)より、エリア B, C に関しては、それぞれ右図のシミュレーションでは最も近い避難階段を経路選択に仮定しており、必ずしも最終目的地に近いルートを選択しないのに対し、左図の訓練時データを見ると、実際には、ほぼ 9 割を超える避難者が Staircase2, すなわち、より最終目的地に近い階段を選択している. 図 5(c)の避難者に着目すると、上記の傾向が顕著に表れており、左図の訓練時データでは、全ての避難者が、Staircase2 を選択している. すなわち、エリア C から北側の通路に出て、その後エリア B を通過して移

動しており,一旦通路に出て他のエリアを通過しての避難経路 選択がなされている.今回対象とした避難訓練では,屋内の一 か所を目指した避難であり,最終目的地により近い経路となっ た可能性がある.また,避難者が従業員であり,経路を熟知して いる点も,留意が必要である.









図 6 2F 避難経路の比較(左:訓練,右:シミュレーション)

4.3 まとめ

オフィスの全棟避難訓練を対象に、ブラインドシミュレーション を行い、訓練時データと比較を行った.得られた結果は以下で ある.

- 避難時間は、各階、最終避難時間ともに、訓練時データによる実時間に比べ、シミュレーションの方が、1 分以上短い傾向にある.これは、階避難の結果より、初期の行動(避難開始時間や歩行速度の設定)による差異が大きいと考えられる.
- 2) 途中経路における, 避難者の歩行速度は, 屋外避難者の合 流する 1F 部分を除き, 概ね対応する傾向が示唆される.
- 3) 避難経路の選択は、最終目的地に最も近い経路(階段)を選 択する傾向にあり、本シミュレーションで仮定した行動とは異 なっている.

今後,今回得られた結果を基に,パラメータスタディなどを行い,歩行経路の選択や,設定値の差異が与える影響について 詳細に検討する予定である.

参考文献

- [国土交通省 2001] 国土交通省: 2001 年版 避難安全検証法 の解説及び計算例とその解説, 2001.
- [天野 2013] 天野和洋ほか:熱煙流動を考慮した避難シミュレ ータの開発,日本火災学会研究発表会梗概集,日本火災 学会,2013.
- [城 2017] 城明秀ほか:空間条件が群集歩行性状に与える影響に関する実験的研究 日本建築学会計画系論文集,日本建築学会,2017.
- [今西 2018] 今西美音子: オフィスの全棟避難訓練における 移動経路計測,日本火災学会研究発表会梗概集,日本火 災学会,2018(掲載予定).
- [木村 2009] 木村謙ほか: マルチエージェントモデルによる群 衆歩行性状の表現,日本建築学会計画系論文集,日本建 築学会,2009.