

ポテンシャルモデルと VR を組み合わせた 新しい避難シミュレーションツールの開発

Development of Human Evacuation Simulator by Potential Model and Virtual Reality

目 黒 公 郎*・藤 田 卓**

Kimiro MEGURO and Suguru FUJITA

1. は じ め に

安全な都市空間や施設を実現するには、構造的に十分な強度を有することはもちろん、利用者の避難安全性確保のための適切な空間設計と、避難誘導を中心とした災害時の適切なオペレーションが必要となる(図1)。特に、地下街、デパート、大規模展示場などの都市施設においては、不特定多数の利用者が混在するとともに、地理に不案内な利用者も多いので、効果的な避難誘導の重要性が高くなる。

このような避難安全性向上のための対策を立案し実施するには、災害時の状況が適切にイメージできなければならない。この背景には「イメージできない状況に対応する対策を講じることは基本的に無理である」という現実がある。この問題を解決するには、施設の安全管理者や利用者に対して、災害時にどのような状況になるのかをイメージできるツールを準備しておくことが不可欠といえる。

2. 研究のフロー

本研究では、著者らが利用者動向を常時モニタリングしている首都圏の大規模地下街を対象に検討を行う。すなわち、この施設の利用者動向を初期条件として、著者らのグループによって開発された避難行動シミュレーション手法である「ポテンシャルモデル」を用いて施設利用者の避難行動を解析する。そして、その結果をバーチャルリアリティー(以下VR)空間上に展開することで、避難行動やその状況をよりリアルにイメージできる環境を整備する。

3 解 析 手 法

本研究で利用するポテンシャルモデルを用いた避難行動モデル¹⁾とは、避難施設の空間特性や個人特性、そして災害状況などをポテンシャルという統一した概念で取り扱うことにより、アルゴリズムの単純化と計算の効率化をはかったモデルである。異なった個人特性を有する多数(数万人規模)の人間の避難行動が、実際の避難時間の数%程度のCPUタイムで、しかも廉価なPC環境で簡単に取り扱えるモデルとなっている。このモデルでは、避難行動の対象となる空間は次にあげる3つのポテンシャル分布の重ね

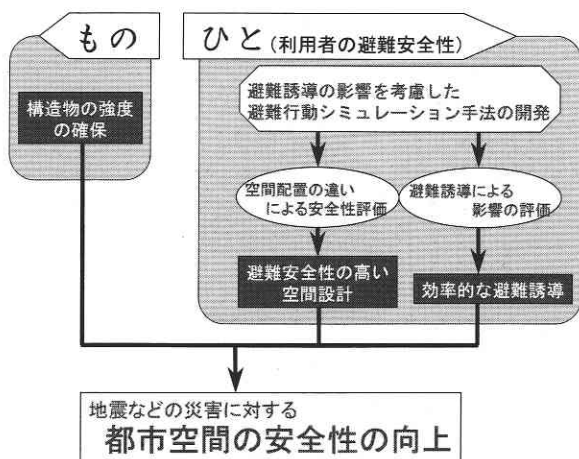


図1 物理的な強度と避難安全性の両面からの安全対策

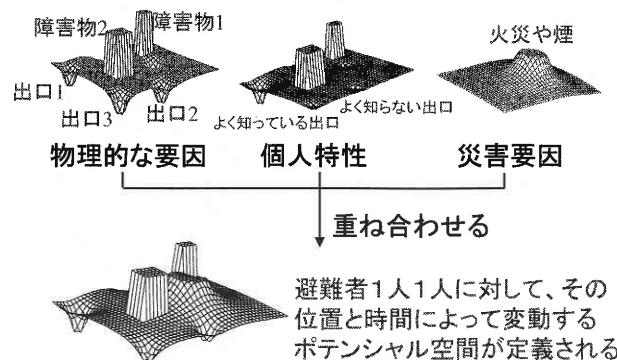


図2 ポテンシャルモデルのイメージ

*東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター

**鉄道情報システム(株)

研究速報

合わせとして表現される。(図2)

①物理的な要因によるポテンシャル

このポテンシャル分布は、対象空間の物理的な空間配置に基づいて決定されるポテンシャルである。柱や壁などの障害物は正のポテンシャルを有し、出口や出口の存在を示す避難誘導灯は負のポテンシャルを有する。

②個人特性によるポテンシャル

このポテンシャル分布は、避難者の個人特性を避難行動に反映するためのポテンシャルである。例えば災害時の避難行動を考えると、付近にすぐに利用できる出口を発見できない場合、避難者は多少遠くても自分がよく知っている出口を利用する傾向がある。そこで、ある避難者が「よく知っている出口」には、「知らない出口」よりも低いポテンシャルを与えている。もちろん「よく知っている出口」というのは、避難者によって異なる。また発災時に、最初はしばらく周囲の様子を見る避難者や他の避難者に追従する傾向の強い避難者など、与えられた情報に対する対応も1人1人異なる。従って、個人特性によるポテンシャルは、避難者ごとに異なり、時刻によっても変化する。

③災害要因によるポテンシャル

このポテンシャル分布は、避難空間内に発生した災害による影響を取り扱うためのポテンシャルである。例えば、火災やそれによる煙などが発生すると、正のポテンシャルが生じ、時間の経過に伴って拡散していく。洪水や津波などによる水が、地下街に入り込んでいくような状況や、地震時などに設備の損壊や転倒などにより出口や通路の一部が使用不可能となったりする影響も、災害要因による正のポテンシャルとして表現することが可能である。

以上の①～③を重ね合わせると、利用者1人1人に対して、その利用者の位置と時間で変化するポテンシャルが定義される(図2)。この様にして決められた対象空間内に

において、それぞれの避難者は、各時間ステップごとにポテンシャルの低い方を進行方向として選択し移動することによって、最終的に出口に辿り着く。またその際の移動速度は、それぞれの避難者の位置するメッシュとその周辺メッシュの混雑状況に応じて決定される²⁾。

このモデルは、過去の研究実績から平常時の行動については人間行動を精度よくシミュレーションできることが確認されている。その一例を図3に示すが、図中の3本の曲線が観測事実から近似した流動係数、4種類のマークがそれぞれ異なった混雑度における解析結果である。縦軸の流動係数とは、通路幅1m当たり1秒間に何人通過できるかを表した指標である。観測事実と数値シミュレーションの結果がよく一致していることがわかる。なお横軸の歩行者空間モジュールとは、人口密度の逆数で混雑度を示す指標である。

4 対象空間について

本研究では、首都圏で実際に利用されている大規模地下街(地下1階)を対象空間とした。この地下街は、飲食店・衣料品店等150店舗以上のテナントを含む、床面積と通路部分の面積がそれぞれ約27,000[m²]、約12,000[m²]の大規模な地下施設である。地上へ通じる階段は全41カ所、吹き抜けが13カ所、吸排気口が28カ所に設置されている。内装類は不燃化されているが、衣料品店舗なども多く、完全な不燃化は不可能であるため、床面積200m²ごとに耐火壁で区画するとともに、歩道などに面する部分は防火扉・シャッターなどで区画している。さらに火気を扱う飲食店舗類はまとめて配置され、防火区画されている。設計時の避難計算は、日本建築センターの避難計算モデルを準用して行い、計算上の総避難時間を210秒以下に抑えている。

この施設の利用者は施設の中央付近の地下街広場で、1日あたりの通過者が約45,000[人]となっている。著者らはこの空間に設置された29台のビデオカメラを用いて、利用者動向の常時モニタリングを実施し、これを記録している。

避難シミュレーションの初期条件としての利用者の初期配置は、過去に行った動向調査の中³⁾から、日常的な状況の

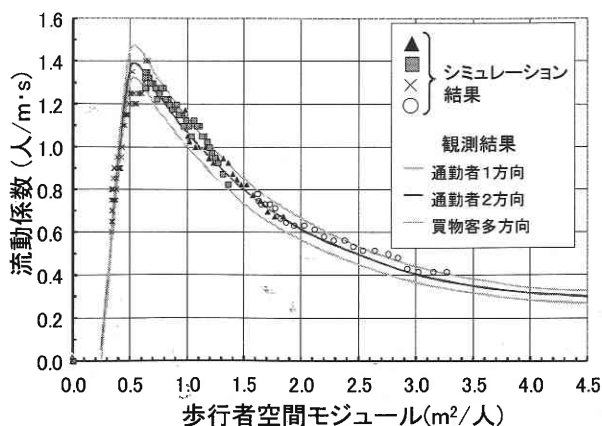


図3 解析と観測事実との比較

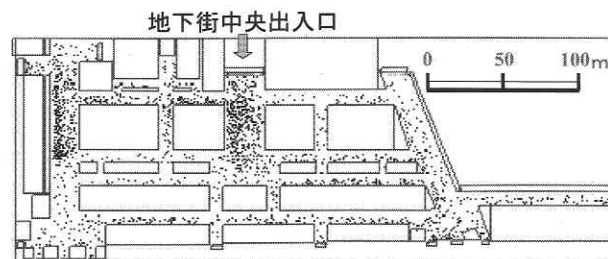


図4 避難者の初期配置

中で利用者が込み合う平日の夕方のラッシュ時 (18:30) のものを利用することにした (図4).

5. 解 析 結 果

避難シミュレーションの結果を図5に示す. ここでは火災などの災害の要素は考慮していない. 図5を見ると, 避難行動開始とともに, おおのこの避難者が各自にとって避難安全上最も有利と判断される出口 (基本的には距離の最短な出口) に向かって移動し始める. 利用者の初期配置が施設の左部分に偏っていることから, 中央の出口と, 向かって左側の出口に避難者が集まっていく様子が見られる. この解析で用いた施設利用者数は設計基準に比べて密度がかなり低めであったが, 最後の避難者の避難が完了するま

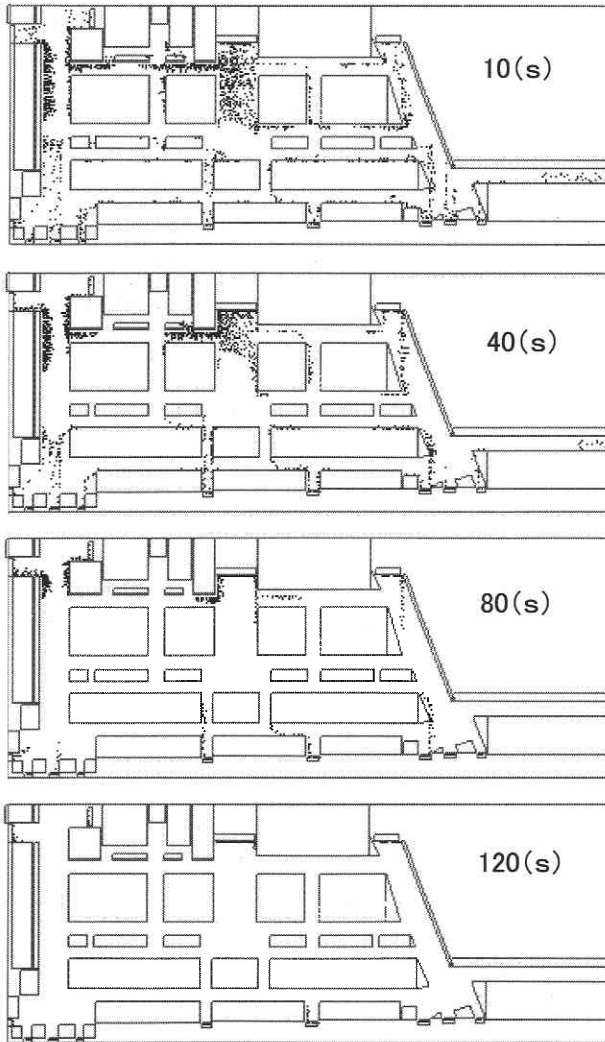


図5 避難行動シミュレーション (1つの黒点が1人の避難者の位置を表している)

での時間は123 [s] であった.

6. VR 空間への展開

VR技術を用いて図4に示した対象空間の平面図から, 図6に示すように仮想空間内に解析対象地下街の3次元モデルを構築した. ここでは, デジタルカメラで撮影した飲食店や衣料品店の写真をテキスチャーとして貼り付けることで, VR空間内のリアリティを高めることに努めた. 図6に示す映像は, 異なる幾つかの視点から地下街を見たものであるが, 実際には天井が邪魔をして見るのできないような視点からの映像も表示することが可能である. また一人一人の避難者が逃げていく様子を鮮明に表現されていることがわかる.

図7は図5に示したポテンシャルモデルで解析したシミュレーションの結果をVR空間内に表示したものである. 天井よりも高い位置に視点を置いて, ある程度広い範囲を鳥瞰的に見渡したのも, 天井のカメラの位置に視点を置いた場合の画像, 壁際に立ち止まっている避難者の視点から見た他の避難者の様子, ほかの避難者と同様に避難行動をとっている避難者の1人の視点からの映像など, 様々な視点から避難環境を体験することが可能であることがわかる.

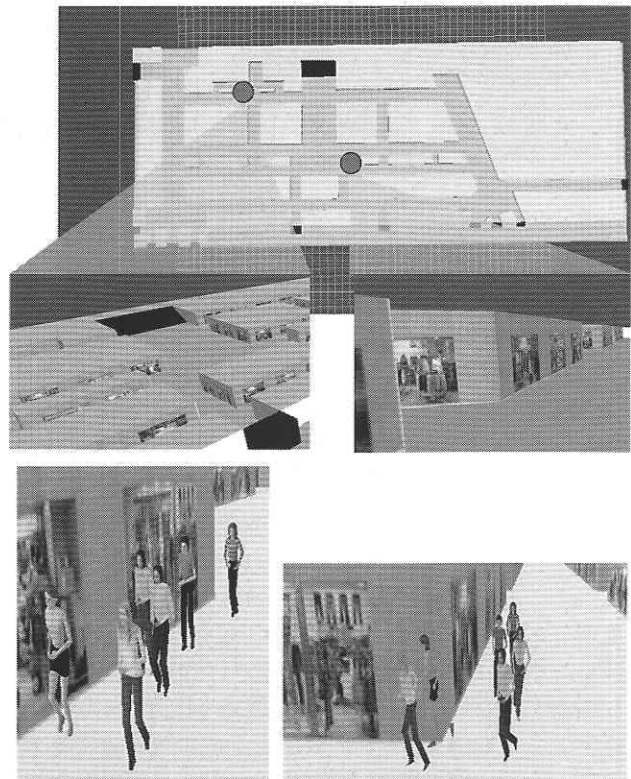


図6 VR空間に再現した解析対象空間とその中での避難の様子

研 究 速 報



(a) 天井を超えた高さの視点から比較的に広い範囲を鳥瞰的に眺めた様子



(c) VR空間の通路の壁際に立ち止まって見ている避難者の視点からの他の避難者の様子



(b) 天井に取り付けたビデオカメラの位置から見たVR空間内の避難者の様子



(d) 他の避難者と同様に避難行動している人の視点からの様子

図7 VR空間に再現したポテンシャルモデルによる避難シミュレーションの結果

7. ま と め

今回紹介したシステムによって、避難対象空間内の様子やそこで展開される避難行動を容易に仮想体験することが可能になった。このシステムを実際に仮想体験した被験者からは、リアリティの高い空間内部と避難行動の様子に、実際にその空間に自分が入り込み、避難しているかのような気分になったとの感想を得た。今後は、今回は考慮しなかった災害状況をシミュレーションに取り込むとともに、災害状況下での避難行動のシミュレーションを、高い精度と臨場感で表現できるシステムの構築を目指す。そして構築された「ポテンシャル+VR」モデルの統合型避難行動シミュレーションを用いることで、実際に体験することが極めて難しい避難体験を、安全管理者や利用者の立場から

疑似体験できる環境を整備するとともに、それらの結果を学習効果として将来の災害軽減に活用できるシステムの構築を図っていきたい。

(2001年9月10日受理)

参 考 文 献

- 1) 原田雅也：ポテンシャルモデルを用いた最適避難誘導のための基礎的研究，東京大学大学院光学系研究科修士論文，1998。
- 2) Fruin, J. (長島正充訳)：歩行者の空間，鹿島出版会，1974。12
- 3) 藤田 卓・目黒公郎：地下街における避難安全性の確保に向けた利用動向把握に関する基礎的研究，第55会土木学会年次学術講演会概要集，2000。