

## 災害状況に応じた最適避難誘導のための基礎研究 Fundamental Study for Optimum Evacuation Guidance Considering the Situation of Disaster

原田 雅也\*・目黒 公郎\*\*

Masaya HARADA and Kimoro MEGURO

### 1. はじめに

安全な都市空間や構造物をつくるためには、構造的な強度だけでなく、その施設の利用者の避難安全性を確保することも極めて重要である。特にデパート・地下街・大規模展示場などでは、利用者が施設内の地理に不案内であることが多く、避難しやすい空間設計であることの重要性が増す。また、災害時には効率的な避難誘導を行うことも被害を最小限に抑えるためには不可欠である。

ところで最近、「現在起こっている」あるいは「進行中」の災害情報をモニタリングして、その後の災害軽減をはかろうというリアルタイム地震防災<sup>1)</sup>の考え方が広まっている。発災時の状況を踏まえて適切な避難誘導を行うことは、リアルタイム地震防災の究極の1つと考えられる。すなわち、発災時における対象空間内の被害状況や利用者の数・分布をモニタリングし、その条件を初期条件としたコンピュータシミュレーションを実施することで、現在の状況下での最適な避難誘導法を、実時間を越えて得ることを可能とするものである。このシステムの実用化には解決すべき問題もまだ多いが、その前段階のシステムとしては次のようなものが考えられる。

上記のような施設では、曜日や時間による利用者の数や流動特性がかなり類似しており、事前の調査に基づいていくつかのパターンに分類できることも多い。したがって、曜日や時間帯ごとに分類した利用者分布の各パターンについて、あらかじめ最適な避難誘導方法を準備できれば、施設の管理者が、災害時に効率のよい避難誘導を実施することが可能になるであろうし、平時には従業員等に対する最適な避難誘導訓練にも利用できる。

本研究では、上述のようなシステムを実現するための

第1ステップとして、避難誘導の効果を評価できる避難行動シミュレーション手法を提案し、いくつかの基礎的な検討を試みている。

### 2. 避難行動シミュレーション

避難行動について著者らのグループでは、実迷路を用いた被検者<sup>2)</sup>やバーチャルリアリティ (VR)を用いた避難行動シミュレータの開発<sup>3)</sup>を行い、災害時における人間行動の把握につとめている。さらに、それらの研究に基づいて、ポテンシャルモデルを用いた避難行動シミュレーション手法<sup>4)</sup>を提案し、安全な空間設計のための基礎的な研究<sup>5)</sup>を進めている。

本研究でもこのポテンシャルモデルを用いるが、ここでその概略を2次モデルを対象として説明する。

ポテンシャルモデルでは対象空間は大きさ ( $d_x, d_y$ ) のメッシュに区切られており、個々のメッシュはその場の状況に応じたポテンシャルを持つ。たとえば、出入口や避難誘導灯などは負のポテンシャル、壁や柱などの障害物は正のポテンシャルを持っている。さらに、利用者が「知っている出口」と「知らない出口」に与えるポテンシャルに差を付けたり、歩行速度や情報に対する反応に差を与えるなどによって、個人特性を考慮することもできる。また火災や火災による煙などが発生すれば、それに応じて正のポテンシャルが発生し拡散する(図1)。すなわち、このポテンシャル場は避難者ごとに定義され、避難者の場所・時間が変わることにより変化するモデルとなっている。

なお本研究においては、メッシュサイズは1 (m) × 1 (m) とし、各メッシュには最大で3人の避難者が入ることができるものとしている。このように、1つのメッシュに入れる人数を制限することにより、避難者が集中する事によって生じるアーチアクションなどの現象を再現す

\*東京大学大学院社会基礎工学専攻

\*\*東京大学生産技術研究所 附属国際災害軽減工学研究センター

研究速報

することもできる。

避難者はこのようにして決められた対象空間において、各時間ステップごとに周囲の8つのメッシュからポテンシャルの一番低いところを選んで進み(図2)、最終的に出口に到達するようになっている。なお本解析では、時間ステップを1秒、各避難者の最大歩行速度は1.5(m/s)としている。

3. 避難誘導のモデル化

本研究では避難誘導の影響として、誘導の行われる出

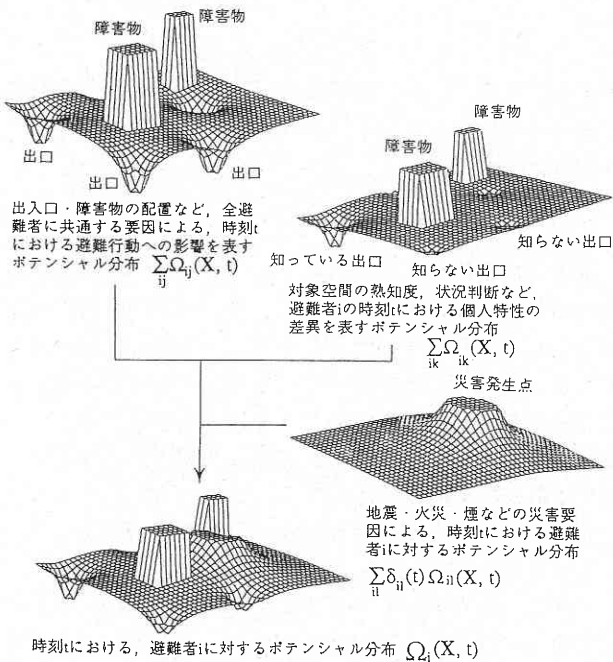


図1 対象空間のポテンシャル分布

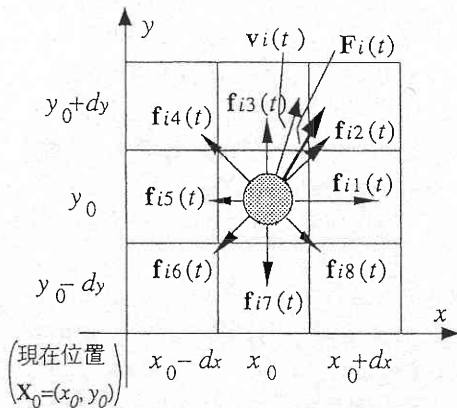


図2 進行方向の選択

口では他の出口よりも低いポテンシャルを与えることとした。つまりこの影響により、避難者によって「知らない出口」であっても、それがあたかも「よく知っている出口」のように扱われるのである。これは、出口に設置されたスピーカや避難誘導員が「こちらへ避難して下さい」と音声で誘導している状況を想定したものである。

このような工夫によって、避難誘導の影響も考慮した、より現実に近い状態を再現できる避難シミュレーションが可能となり、避難誘導の影響の評価を行うことが可能となる。

4. シミュレーションの条件と結果

(1) 対象空間と初期配置人数

東京都内のある大規模展示場を対象空間としてシミュレーションを行った。対象空間の平面図を図3に、各出口の広さを表1に示す。また解析の初期条件として与える施設内の利用者の分布は、図4(a)に示す通りである。ここでは6,000人をランダム配置しているが、この条件は施設内の通路における人口密度が1.22(人/m<sup>2</sup>)であり、かなり混雑した状況である。

(2) シミュレーションの条件

初めに、図4(a)の状態を初期条件として、避難誘導

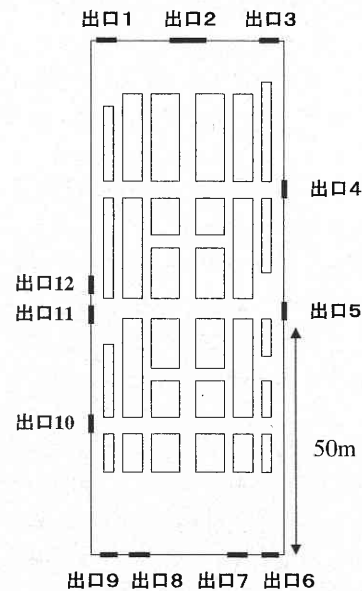
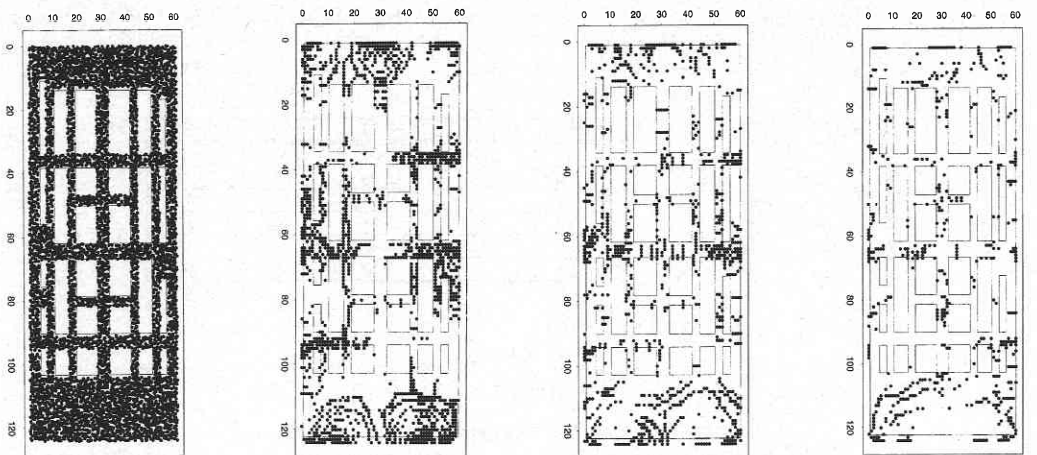


図3 対象空間の平面図

表1 ケースごとの各出口の広さ(m)

出口番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ケース①	6	11	6	5	5	5	6	6	5	5	5	4
ケース②~④	2	0	変化なし									



(a) 避難開始時 (b) 避難開始 15 秒後 (c) 避難開始 30 秒後 (d) 避難開始 60 秒後

図 4 各時刻における対象空間内の避難者の分布

が全く行われなかった場合のシミュレーションを行った (ケース①). 図 4 (a) ~ (d) に各時刻における避難者の分布を示す. 各避難者がそれぞれの出口に向かって避難していく様子が見られる.

図 5 は各出口を利用した避難者の時間的な変化を表した図である. 避難開始直後に集中的に利用される出口, 長時間にわたって利用される出口など, 出口によって利用状況に差があることがわかる. 幅 11 m の出口 2 は会場内で最も広い出口であると同時に, メインの通路の正面に位置していることから, 利用者数も多くなっていることがわかる (図 5, 図 6).

次に, 避難誘導の効果を調べるために, 「地震や事故で出口 2 が完全に使用不能になり, かつ出口 1 の一部が使用不可能となって, 通行可能な幅が 2 m になる. ただし, その他の出口はそのまま利用できる. (表 1 下段)」という条件下で, 「全く避難誘導を行わなかった場合」と「各出口でそれぞれ避難誘導を行った場合」の合わせて 12 通りのシミュレーションを行い, 避難行動特性を分析した. ここでは, それらの中でも特に注目すべき, 以下の 3 ケースについてとりあげ考察する.

- ケース②: 避難誘導が全く行われなかった場合
- ケース③: 出口 3 への誘導が行われた場合
- ケース④: 一部使用不能となった出口 1 への誘導が行われた場合

(3) シミュレーション結果

出口 2 と出口 1 の一部が使えなくなったことの影響を調べるために, ケース①とケース②の各出口の総利用者数を比較した (図 6). ケース①で出口 2 や出口 1 を利用していた避難者は, 出口 3 や出口 12 など, 前に使っていた

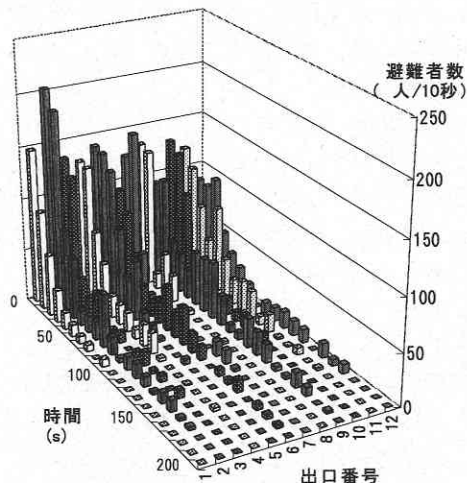


図 5 各出口の避難者数の時間的な変化

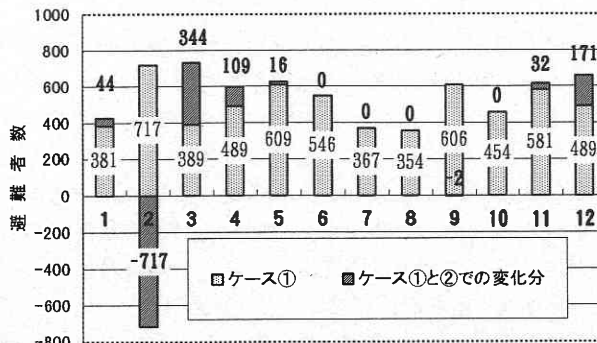


図 6 ケース①とケース②における各出口の避難者数の変化

出口の近くの出口に移動していることがわかる.

図 7 はケース①~④のシミュレーションにおける会場

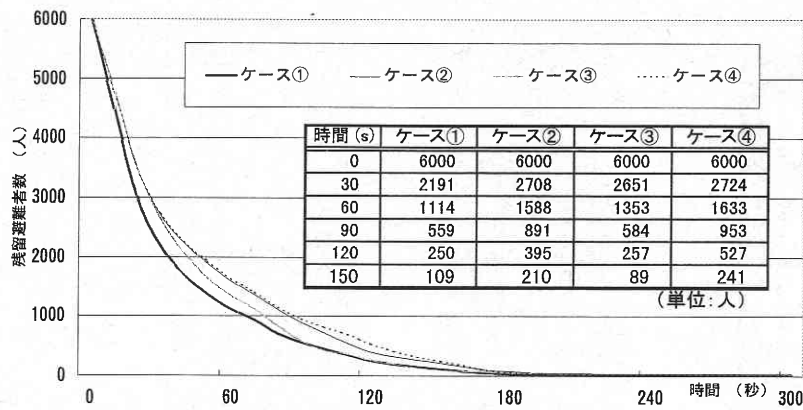


図7 時間経過にともなう残留避難者の変化 (ケース①~④)

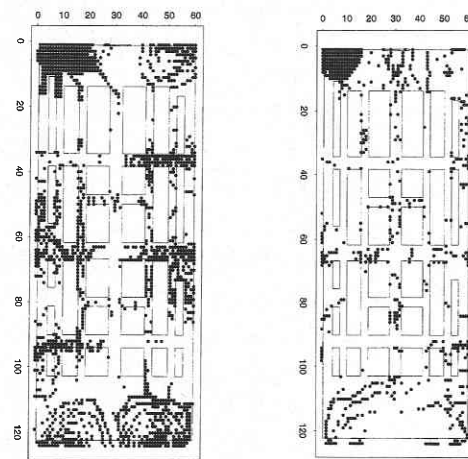
内の残留避難者数の時間的変化を示したものである。ケース②では、出口2が使用不能になったため、避難効率が著しく悪化している。一方ケース③では、避難誘導の効果によって、避難効率が上がっていることがわかる。逆にケース④では、避難誘導を行ったにもかかわらず、かえって避難効率が悪くなっている。これは間口の狭い出口1に避難誘導したために、出口付近に避難者が集中し、アーチアクションを起こしてしまったためと考えられる。図8は避難開始後15秒と60秒における避難者分布であるが、図4と比較して、出口1付近において避難者の著しい集中が見られる。この避難者の集中は、出口1の容量を超えていたため、60秒を経過した時点でも集まった避難者が脱出できずにいるのである。

上記の結果より、避難誘導を行う際は災害状況に応じて最適な誘導を行う必要があり、誤った誘導を行うと、かえって避難効率を低下させ、被害を拡大してしまう可能性があるということがわかる。

5. おわりに

安全な都市空間や構造物の実現には、構造的な強度だけでなく、施設利用者の避難安全性の確保も極めて重要である。そこで本研究では、利用者の避難安全性から見た都市空間の安全性評価と最適避難誘導法を見当するためのシミュレーションモデルを提案し、幾つかの基本的な検討を行った。その結果、避難誘導は災害状況に応じて適切に行うことが重要であり、誤った誘導はかえって被害を拡大する可能性があることが示された。

本研究で提案した避難行動シミュレーションは、計画段階の構造物においては、より安全な空間設計を実現するためのツールとして、また既設の構造物においては、効率のよい誘導によって人的被害を軽減するための最適避難誘導法を検討するツールとして利用できるものである。



(a) 避難開始15秒後 (b) 避難開始60秒後

図8 ケース④における避難者の分布

(1997年8月26日受理)

参 考 文 献

- 1) 野田茂・目黒公郎：リアルタイム地震工学をめざして，第22回日本建築学会地盤振動シンポジウム，震災予防協会，pp.95-112，1994.10.
- 2) 横山秀史・永田茂・山崎文雄・海老原学：実迷路による緊急時の人間行動特性，土木学会年論文集，No.441/I-18，pp.107-115，1992.
- 3) 目黒公郎・芳賀安則・山崎文雄・片山恒雄：バーチャルリアリティの避難行動シミュレータへの応用，土木学会論文集，No0556/I-38，pp.197-207，1997.1.
- 4) 横山秀史・目黒公郎・片山恒雄：避難行動へのポテンシャルモデルの応用，土木学会論文集No513/I-31，pp.225-232，1995.4.
- 5) 角雄一郎・目黒公郎・片山恒雄：大規模展示場の避難安全性評価シミュレーション，第51回土木学会年次学術講演会概要集，第1部，pp.736-737，1996.9.