

I-148

ポテンシャルモデルに基づく避難行動シミュレーション

○ 東京大学大学院 学生会員 横山 秀史
東京大学生産技術研究所 正会員 目黒 公郎
東京大学生産技術研究所 正会員 片山 恒雄

1. はじめに

地下街・大規模地下駅など、常時不特定多数の人が存在する地下施設の安全性を検討する際には、設計時に想定したとおりの避難行動が可能かどうかを検証する必要がある。このとき、実構造物を用いた被験者実験による検討は、実験自体の安全性の問題から困難であり、コンピュータシミュレーションによる検討が有用であると考えられる。

従来より、建築物などの標準的な避難計算手法¹⁾として、戸川による流動モデル²⁾を基礎とした避難計算モデルが広く用いられてきた。しかし、これらのモデルでは、避難者が理想的な行動をとることを前提としており、対象構造物の避難上の問題点を発見し、改善するためのモデルとしては難がある。

近年のコンピュータの発達に伴い、個人の行動を予測することを目的としたモデル³⁾が提案されている。これらのモデルの多くは、避難目標物や障害物などが避難行動に及ぼす影響を、影響力ベクトルとして評価し、力のつりあいに基づいて行動を決定するモデルである。しかし、例えば障害物の回避や壁を回り込む行動など、ベクトルモデルでは表現しにくい行動も多い。特に、複雑な形状と空間的な広がりを持つ大規模地下構造物からの避難行動をモデル化するには、対象空間をスカラー量であるポテンシャル場としてモデル化する方法が有用であると考えられる。

本研究では、対象空間を避難に関する各要因の影響を表すポテンシャルの時間・空間分布としてモデル化し、得られたポテンシャル分布を用いて避難行動シミュレーションを行う手法を提案する。

2. 避難行動シミュレーションモデルの構築

提案モデルでは、避難対象となる一人一人に対して、避難に関する要因の影響を表すポテンシャル分布 Ω を計算し、求められたポテンシャル分布に基づいて避難行動シミュレーションを行う。以下では、説明を簡略化するため、対象空間を2次元の平面場としてモデル化した場合について示す。

避難行動シミュレーションは、大きさ(d_x, d_y)のメッシュ単位で行う。避難者 i から見た時刻 t における対象空間のポテンシャル分布 $\Omega_i(x, y, t)$ は、図1に示すとおり、全避難者に共通の要因である、対象空間の平面構成などの影響を表すポテンシャル分布、避難者の個人特性の違いを表すポテンシャル分布、地震・火災・煙など災害による影響を表すポテンシャル分布などの重ね合わせとして定義し、次式により求める。

$$\Omega_i(x, y, t) = \sum_j \Omega_{ij}(x, y, t) + \sum_k \Omega_{ik}(x, y, t) + \sum_l \delta_{il}(t) \Omega_{il}(x, y, t) \quad (1)$$

$$\delta_{il} = \begin{cases} 0: \text{時刻} t \text{ で考えない災害} \\ 1: \text{時刻} t \text{ で考える災害} \end{cases}$$

ここで、 $\Omega_{ij}(x, y, t)$ は、対象空間の平面構成などの影響を表すポテンシャル分布、 $\Omega_{ik}(x, y, t)$ は避難者の年齢・性別・性格・対象空間に対する知識など、個人特性の影響を表すポテンシャル分布、 $\Omega_{il}(x, y, t)$ は地震、火災などの各災害要因の影響を表すポテンシャル分布である。

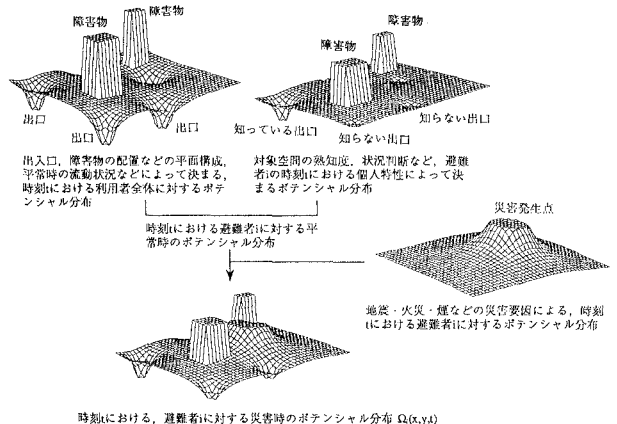
避難者 i に対するポテンシャル分布 $\Omega_i(x, y, t)$ が定まったときの進行方向ベクトル $F_i(t)$ は、図2に示すように、

$$F_i(t) = [f_{x*}(t) + f_{x+y*}(t) + f_{y*}(t) + f_{x+y*}(t) + f_{x*}(t) + f_{x+y*}(t) + f_{y*}(t) + f_{x+y*}(t)] + \alpha_i(t) v_i(t) \quad (2)$$

と仮定する。ここで、

$$f_{x*}(t) = [\Omega_i(x_0 + d_x, y_x, t) - \Omega_i(x_x, y_x, t)] / d_x$$

$$f_{x+y*}(t) = \frac{\Omega_i(x_0 + d_x, y_0 + d_y, t) - \Omega_i(x_0, y_0, t)}{\sqrt{d_x^2 + d_y^2}}$$



$$\begin{aligned}
 f_{y+}(t) &= [\Omega i(x_x, y_x + d_y, t) - \Omega i(x_x, y_x, t)] / d_y \\
 f_{x+}(t) &= \frac{\Omega_1(x_0 + d_x, y_0 - d_y, t) - \Omega_1(x_0, y_0, t)}{\sqrt{d_x^2 + d_y^2}} \\
 f_{x-}(t) &= [\Omega i(x_x - d_x, y_x, t) - \Omega i(x_x, y_x, t)] / d_x \\
 f_{y-}(t) &= \frac{\Omega_1(x_0 - d_x, y_0 + d_y, t) - \Omega_1(x_0, y_0, t)}{\sqrt{d_x^2 + d_y^2}} \\
 f_{x-y+}(t) &= \frac{\Omega_1(x_0 - d_x, y_0 - d_y, t) - \Omega_1(x_0, y_0, t)}{\sqrt{d_x^2 + d_y^2}} \\
 f_{x-y-}(t) &= \frac{\Omega_1(x_0 + d_x, y_0 + d_y, t) - \Omega_1(x_0, y_0, t)}{\sqrt{d_x^2 + d_y^2}}
 \end{aligned} \quad (3)$$

また、 $v_i(t)$ は直前の進行方向を表す単位ベクトルである。 $\alpha_i(t)$ は、個人特性の違いを表す係数で、行動を決定する際に周囲の状況を重視する傾向にあるか、あまり考慮せず前進する傾向にあるかを表す。

実際の避難行動シミュレーションモデルの構築にあたっては、使用するポテンシャルモデルを決める必要がある。本研究では、避難者*i*に対する時刻*t*における対象空間内のポテンシャル分布計算法として、出口などの避難目的地点に負のポテンシャル値、壁や障害物に正のポテンシャル値を与え、その他の点*p*のポテンシャル値は次式を用いて補間する方法を仮定した。

$$\Omega_{ip}(t) = \sum_{j=1}^n c_{ij}(t) \exp \left[- \left(\frac{\Delta r_{ip}}{dr_{ij}} \right)^2 \right] \quad (4)$$

ここで、 $\Omega_{ip}(t)$ は、避難者*i*に対する、時刻*t*における点*p*のポテンシャル値、 n はポテンシャル値を与えた点の数、 $c_{ij}(t)$ は時刻*t*における点*j*のポテンシャル値、 Δr_{ip} は点*j*からポテンシャル値を求める点*p*までの最短距離である。また、 dr_{ij} は相関距離と呼ばれ、点*i*のポテンシャル値との相関の程度を決める係数である。避難者の対象空間についての知識や、個々の避難目標・障害物の特性などに応じて、相関距離の大きさを変えることで、各々の要因の影響度をモデル化する。また、2地点間の実距離の代わりに、避難者の主観に基づく距離モデルを用いることで、避難経路の性質や個々の避難者の知識などをモデルに取り入れうると考えられる。

現在、簡易な地下街モデルおよび大規模地下駅を例題として、避難行動シミュレーションモデルの検討を行っている。図3は、地下街モデルの上部中央にある出口に対してポテンシャル値-1.0を与え、全避難者がこの出口を目標として避難行動をとった場合のシミュレーションを行った例である。対象空間をポテンシャル場としてモデル化することにより、途中の障害物を回避しながら目的値へ向う行動などを表現することができた。

3. まとめ

本研究では、ポテンシャルモデルに基づく避難行動シミュレーションモデルについて、基本的な考え方を提案した。今後は、各避難者の知識や行動特性をモデルに取り入れるための検討を行うとともに、地震・火災・煙などの災害要因のモデル化、避難誘導の効果のモデル化などについて検討していく予定である。なお、本研究は文部省科学研究費補助金による研究の一環として行ったものである。

参考文献

- 1) 戸川喜久二：避難群集流の計算について，建築雑誌，No.4, pp.15-19, 1954.
 - 2) 日本建築センター：新・建築防災計画指針1985年版，1985.
 - 3) 例えば，大槻明・海老原学：オブジェクト指向型言語を用いた地震時人間行動シミュレーション，土木学会第44回年次学術講演会講演概要集第1部，pp.1080-1081, 1989.
- など

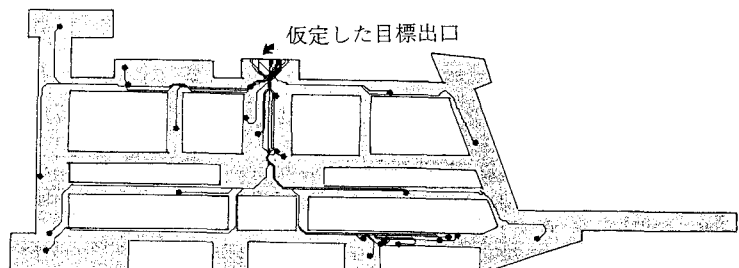


図3 シミュレーション例

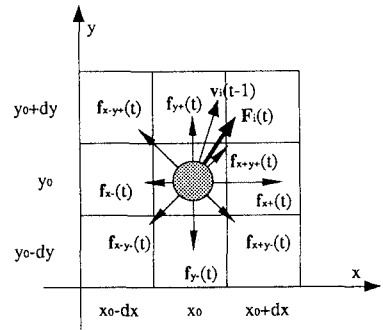


図2 進行方向の選択