

津波避難時の住民の歩行特性を考慮した避難シミュレーションモデルの検討

東北大学大学院 学生会員 ○宇川 弘朗
東北大学大学院 正 会 員 今村 文彦
東北大学大学院 正 会 員 越村 俊一

1. はじめに

津波来襲時における避難政策を策定する上での現実的かつ効果的なツールとして津波避難シミュレーションが注目され、近年盛んに研究が行われている。しかしながら、既存のモデルでは実際の避難状況を再現できているとは言いがたい。より現実に近い避難状況を再現するためには、避難者間の物理的な相互作用やコミュニケーションといった歩行特性と、避難開始時刻や避難場所・経路に関する認識の程度による避難者の避難特性を考慮したモデルを構築する必要がある。本研究では、避難政策を評価し得るモデルの構築への第一段階として、歩行特性を考慮したモデルの開発を行うことを目的とする。

2. ポテンシャルモデルと歩行特性

(1) ポテンシャルモデル

本研究では、横山ら(1995)が提案したモデルを自由空間に拡張した加藤ら(2009)のモデルを参考にした。ポテンシャルモデルを適用するには、各避難者の移動方向を決める対象空間のポテンシャル場 $\Omega_i(\mathbf{X}, t)$ を設定する必要がある。作成に際し、避難場所の中心地にポテンシャル値 $c_j (= -1.0)$ を与え、その他の点は次式で補間する。

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

$\Omega_{ip}(t)$ は、避難者 i の時刻 t における点 p のポテンシャル値、 n はポテンシャルを与えた点の数、 c_j は点 j のポテンシャル値、 Δr_{ijp} は点 j から点 p までの距離である。なお dr_{ij} は相關距離と呼ばれ、ポテンシャル場の勾配の緩急を調節するパラメータである。ポテンシャル場 $\Omega_i(\mathbf{X}, t)$ が定まったときの移動ベクトル $\mathbf{u}_i(t)$ は、現在位置 $\mathbf{X}_0' = (x_0, y_0)$ の最近傍のグリッド点 $\mathbf{X}_0' = (x_0', y_0')$ と近傍8点のグリッド点 $\mathbf{X}_k' (k = 1, 2, \dots, 8)$ のポテンシャル値から(2)(3)式より求める。

$$\mathbf{u}_i(t) = \frac{\mathbf{u}'_i(t)}{|\mathbf{u}'_i(t)|} \quad (2)$$

$$\mathbf{u}'_i(t) = \sum_{k=1}^8 \left\{ \Omega_i(\mathbf{X}_0', t) - \Omega_i(\mathbf{X}_k', t) \right\} \cdot \frac{[\mathbf{X}_k' - \mathbf{X}_0']}{|\mathbf{X}_k' - \mathbf{X}_0'|^2} \quad (3)$$

すなわち、移動方向ベクトル $\mathbf{u}_i(t)$ は図-1のように周辺のポテンシャル場の中で勾配が最も急な方向を示している。

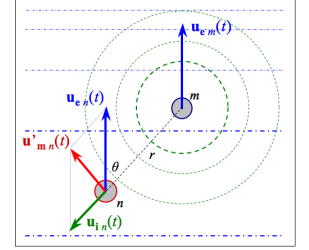
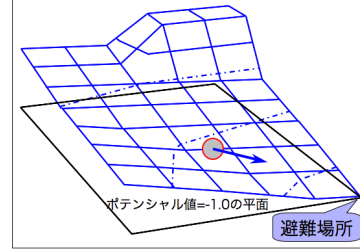


図-1 移動ベクトルのイメージ 図-2 移動方向算出のイメージ

(2) 歩行特性

歩行特性とは、歩行者の相対位置による効果によって発現するもので、主なものとして回避行動と追従行動、グループ行動がある。回避行動は物理的接触を避けようとする性質、追従行動は同方向に進む歩行者の後を追おうとする性質、グループ行動は関係者と共に歩行しようとする性質から生じる。これらの蓄積によって群衆の歩行挙動は複雑になり、その結果渋滞が発生する。

3. 歩行特性を考慮した避難シミュレーションモデルの構築

(1) モデルの概要

本モデルにおいて、避難者は避難ポテンシャル場 $\Omega_e(\mathbf{X}, t)$ と相互作用ポテンシャル場 $\Omega_{in}(\mathbf{X}, t)$ の2つを持つ。この2つのポテンシャル場から、避難場所へ向かう避難ベクトル $\mathbf{u}_{en}(t)$ と避難者間の相互作用によって生じる相互作用ベクトル $\mathbf{u}_{in}(t)$ を算出し、その2つのベクトルを図-2のように合成することで移動ベクトル $\mathbf{u}_{mn}(t)$ を算出する。また、歩行速度は移動ベクトル前方の歩行可能範囲の広さから算出する。以上の流れで求めた移動ベクトルと歩行速度から1タイムステップにおける避難者の移動距離を求め、存在位置を更新していくことで避難行動を再現する。

ここで、回避行動と追従行動は同時に生じないものと仮定する。つまり、相互作用ベクトルは避難者間の距離が離れているときは追従行動を表現し、接近したときは回避行動を表現する。

以下、本モデルの具体的な計算方法について述べる。

(2) 避難ベクトルの算出

避難ポテンシャル場から避難ベクトル $\mathbf{u}_{en}(t)$ を求める。

避難ポテンシャル場 $\Omega e_i(\mathbf{X}, t)$ は計算前にあらかじめ設定しておき、時間経過によって変化させることで避難状況の変化や避難者間のコミュニケーションなどを再現する。

(3) 相互作用ベクトルの算出

相互作用ポテンシャル場 $\Omega i_n(\mathbf{X}, t)$ から回避行動、追従行動により生じる避難者間の相互作用 $\mathbf{u}_{in}(t)$ ベクトルを算出する。相互作用ポテンシャル場 $\Omega i_n(\mathbf{X}, t)$ は毎タイムステップで更新していくもので、以下にその設定方法を示す。

a) 回避行動

回避対象の避難者の移動方向から、(a)対向者回避（すれ違い）、(b)同方向者回避（追抜き）、(c)交差回避、(d)静止回避の4パターンに区別する。そして前方間隔 L_w と側方間隔 W_w の領域内に回避対象の避難者が存在した場合、その存在位置に+1.0のポテンシャル値を与える。正のポテンシャル場を与えることで、回避対象から離れる方向に相互作用ベクトルが生じる。なお、存在しない場合はポテンシャル場は0となる。ここで、 L_w と W_w は回避のパターンによって異なり、表-1に示した値を用いる。これは劉ら(2008)が学生20人を対象に行った回避行動に関する実験的研究の結果を参考にした。

表-1 回避時の前方間隔と側方間隔

case	(a)	(b)	(c)	(d)
L_w (m)	5.95	1.88	1.89	2.87
W_w (m)	0.84	0.83	0.83	0.83

b) 追従行動（グループ行動）

追従行動も追従行動と同様に、追従対象が単体あるいは複数の場合と、対象が特定あるいは変化の場合で4パターンに区別する。ここで、複数・特定の場合がグループ行動を表し、単体・特定の場合はある種のリーダーを中心に避難するリーダー追従の状況を表している。

追従行動の場合も回避行動と同様に前方間隔 L_c と側方間隔 W_c を設定し、追従対象が領域内に存在した場合は、その存在位置に-1.0のポテンシャル値を与える。これにより、対象を追従する相互作用ベクトルが生じる。

(4) ベクトルの合成

(4), (5)式を用いて避難ベクトル $\mathbf{u}_{en}(t)$ と相互作用ベクトル $\mathbf{u}_{in}(t)$ から、移動ベクトル $\mathbf{u}_{mn}(t)$ を算出する。係数 γ は図-3のように与えており、避難者の避難ベクトル $\mathbf{u}_{en}(t)$ に対して正面かつ距離が近いほど大きな値となる。なお、図-3内の点線は相互作用ポテンシャル場の発生領域を示している。

$$\mathbf{u}_m(t) = \frac{\mathbf{u}'_m(t)}{|\mathbf{u}'_m(t)|} \quad (4)$$

$$\mathbf{u}'_m(t) = \mathbf{u}'_e(t) + \gamma \cdot \mathbf{u}'_i(t) \quad (5)$$

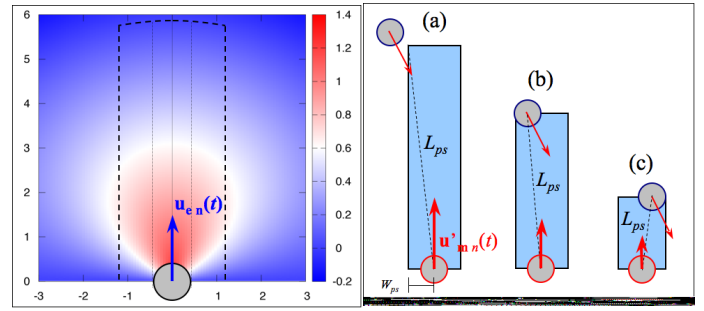


図-3 係数 γ の値

図-4 前方距離 L_{ps}

(5) 歩行速度の算出

歩行速度 $V_n(t)$ は、移動ベクトル $\mathbf{u}_{mn}(t)$ に対する正面方向に存在する避難者との距離 L_{ps} （図-4）から算出する。回避行動のパラメータと同様に劉ら(2008)を参考に、(6a)～(6c)式を設定した。

$$V_n = \begin{cases} 1.26 & (6.0 \leq L_{ps}) \end{cases} \quad (6a)$$

$$V_n = \begin{cases} 0.048L_{ps} + 0.97 & (1.8 \leq L_{ps} < 6.0) \end{cases} \quad (6b)$$

$$V_n = \begin{cases} 0.92L_{ps} - 0.6 & (L_{ps} < 1.8) \end{cases} \quad (6c)$$

(6) 存在位置の更新

求めた値から次のステップの存在位置 $\mathbf{X}_0^{t+1}$ を算出する。

$$\mathbf{X}_0^{t+1} = \mathbf{X}_0^t + V_n(t)\Delta t \cdot \mathbf{u}_{mn}(t) \quad (7)$$

(7) 再現性の検証方法

避難者間の相互作用の再現性は、歩行特性のパラメータに実験的研究の観測結果を用いることで担保している。一方で、より巨視的な群衆歩行の再現性に関しては様々な状況で計算し、岡田ら(2003)などの歩行速度・密度間関係式との相関から検証を行う必要がある。

4. まとめ

本研究において、歩行特性を考慮した避難シミュレーションモデルの構築の必要性に基づき、その計算方法を検証した。今後は提案モデルの巨視的な群衆歩行の再現性に関して検証を行う。また、避難者の避難特性に関しても新たに本モデルに組み込んでいく予定である。

謝 辞

同研究室研究員の阿部郁男氏には多大なご指導、ご協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- [1] 横山秀史・目黒公郎・片山恒雄(1995):避難行動解析へのポテンシャルモデルの応用, 土木学会論文集, No.513/I-31, pp.225-232
- [2] 加藤周平・下園武範・岡安章夫(2009): 個体行動特性を考慮したハイブリッド型群衆津波避難シミュレーション, 土木学会論文集, Vol.B2-65, No.1, pp.1316-1330
- [3] 劉建宏・大枝良直・角知憲(2008): パーソナルスペースを用いた障害物を回避する歩行者の群衆流動, 土木学会論文集, Vol.D-64, No.4, pp.513-524
- [4] 岡田公孝・和田剛・高橋幸雄(2003): 個人行動をベースにした歩行モデルと歩行流シミュレーション, 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季発表会アブストラクト集, pp.102-103