

京都大学工学部 学生員 ○安藤 栄祐
 京都大学大学院工学研究科 正会員 後藤 仁志
 京都大学大学院工学研究科 正会員 原田 英治

1. はじめに

本研究では平時の歩行者行動の予測を目的に、個別要素法型群集行動シミュレータに周辺歩行者の行動を予測し自己の行動を決定する歩行者モデル、複数人のグループで行動するモデルを導入し、シミュレーション結果と現地観測結果との比較から提案モデルの導入効果の確認を実施した。

2. 個別要素法型群集行動シミュレータの概要

(1) 運動方程式

個々の人間要素の行動は自身の歩行力と他の粒子から受ける外力によって決定される。

$$M_{hi} \frac{d\mathbf{u}_i}{dt} = \mathbf{F}_{hint} + \mathbf{F}_{aw} + \mathbf{F}_{kaihi} + \mathbf{F}_{group} \quad (1)$$

$$I_{hi} \frac{d\boldsymbol{\omega}_i}{dt} = T_{hi} \quad (2)$$

ここに、 M_{hi} ：人間要素の質量、 \mathbf{u}_i ：人間要素*i*の移動速度ベクトル、 \mathbf{F}_{hint} ：要素間（人間-人間および人間-壁）の作用力ベクトル、 \mathbf{F}_{aw} ：自律歩行力、 \mathbf{F}_{kaihi} ：回避力、 \mathbf{F}_{group} ：グループ間力、 I_{hi} ：慣性モーメント、 $\boldsymbol{\omega}_i$ ：人間要素*i*の回転速度、 T_{hi} ：人間要素*i*に作用するトルクである。物理的・心理的接触によって生じる要素間作用力を表す \mathbf{F}_{hint} は個別要素法により算出される。

(2) 回避力

周辺歩行者の行動を予測し、衝突しないよう自身の進行方向を変える現象を、歩行者に回避のための外力が作用すると仮定しモデル化した。

$$\mathbf{F}_{kaihi} = \begin{cases} M_{hi} \sum_j \kappa \frac{\mathbf{v}_i \cdot \mathbf{e}_{vi} - \mathbf{v}_j \cdot \mathbf{e}_{vi}}{\Delta t} (\hat{\mathbf{e}}_{ij} \times \mathbf{e}_{vi}) \times \mathbf{e}_{vi} & \text{when } (\hat{\mathbf{e}}_{ij} \times \mathbf{e}_{vi} \neq 0) \\ M_{hi} \sum_j \kappa \frac{\mathbf{v}_i \cdot \mathbf{e}_{vi} - \mathbf{v}_j \cdot \mathbf{e}_{vi}}{\Delta t} \mathbf{e}_z \times \mathbf{e}_{vi} & \text{when } (\hat{\mathbf{e}}_{ij} \times \mathbf{e}_{vi} = 0) \end{cases} \quad (3)$$

$$\kappa = \alpha \frac{\cos \hat{\phi}_{ij}}{|\hat{\mathbf{r}}_{ij}|/r_v} ; \cos \hat{\phi}_{ij} = \mathbf{e}_{vi} \cdot \hat{\mathbf{e}}_{ij} \quad (4)$$

$$\hat{\mathbf{r}}_{ij} = \hat{\mathbf{r}}_j - \mathbf{r}_i ; \hat{\mathbf{r}}_j = \mathbf{r}_j + \mathbf{v}_j t_f \quad (5)$$

ここに、 N_k ：回避領域内要素数、 $\mathbf{v}_i, \mathbf{v}_j$ ；それぞれ歩行者要素*i, j*の速度ベクトル、 t_f ：先読み時間（浅野ら¹⁾の研究より $t_f=2.0$ ）、 $\mathbf{e}_{vi}, \mathbf{e}_{vj}, \mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z$ ：それぞれ $\mathbf{v}_i, \mathbf{r}_{ij}, x$ 軸方向、 y 軸方向、 z 軸方向に関する単位ベクトル、 α ：回避力レベルに関する係数である。式中の $\hat{}$ は先読み位置を使用していることを示している。ここで回避領域は図-1 左図の‘evasion area’と示された部分である。扇形の中心角は 30° （中心視野に相当する）に設定し、 r_v は建部ら²⁾の研究より 7.34mとした。

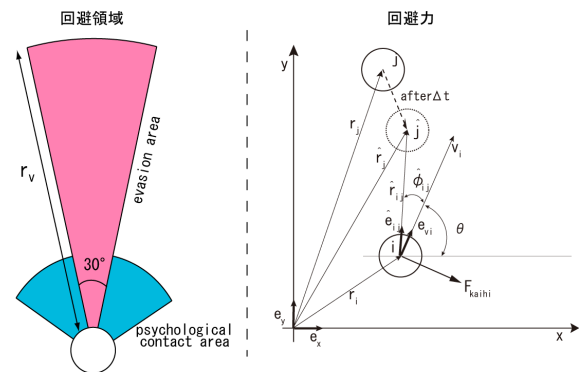


図-1 先読み・回避モデル

(3) グループ間力

隣り合うグループ構成歩行者要素間の相互作用力の表現に、個別要素法と同様のスプリング・ダッシュポットモデルを使用した。スプリングが自然長となる隣接要素の位置は進行方向に対して垂直な方向に r_g 離れた位置としている。なお r_g はグループ構成歩行者の性別、年齢などによって定まる。

$$\mathbf{F}_{group} = (F_{xgroup}, F_{ygroup}) \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} F_{xgroup} &= -f_{group}^n \cos \alpha_{ij} + f_{group}^s \sin \alpha_{ij} \\ F_{ygroup} &= -f_{group}^n \sin \alpha_{ij} - f_{group}^s \cos \alpha_{ij} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\mathbf{f}_{group}^m = \mathbf{e}_{group}^m(t) + \mathbf{d}_{group}^m(t) \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{e}_{group}^n(t) &= k_g^n (r_g - R_{ij}) \\ \mathbf{e}_{group}^s(t) &= k_g^s (r_g \cdot \psi_{ij}) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$d_{group}^m(t) = c_g^m \cdot \frac{\Delta \xi_{i,j}^m}{\Delta t} \quad (10)$$

ここに, $m=n,s$:それぞれ法線および接線方向を示す添え字,
 α_{ij} : 人間要素 ij の接触角 (ただし反時計回りを正とする),
 k_g, c_g : グループ間力弾性係数, 粘性係数, R_{ij} : 人間要素 ij 間の距離, ψ_{ij} : 基本位置からの変位角, $\Delta \xi$: 時間 Δt 間の相対変位である.

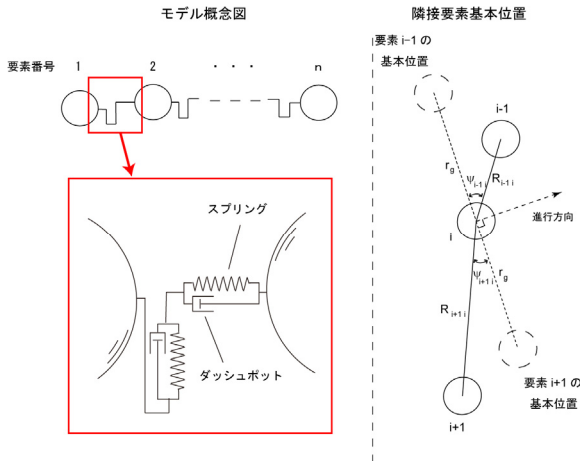


図-2 グループ行動モデル

3. 歩行者対向流シミュレーション

高密度な対向流が予測される JR 大阪駅前の横断歩道を計算対象領域とし, 歩行者流入量は実地調査より 50 秒でそれぞれの方向に対して約 170 人, 190 人とした.

シミュレーションと観測動画のスナップショットを図-3に示す. ここで simulation 1 は回避力導入前, simulation 2 は回避力導入後, observation は観測結果を表す. 形成されている歩行流の列幅が simulation 1 では 1,2 人分であるのに対し, simulation 2, observation では 3,4 人分となっている. また, 図-4 に平均歩行速度 v と歩行者数密度 ϕ の時系列と進行方向角度分散 $\Delta \theta$ の頻度分布を示す. 回避力を導入することでシミュレーション結果が観測結果により近づいたことが分かる.

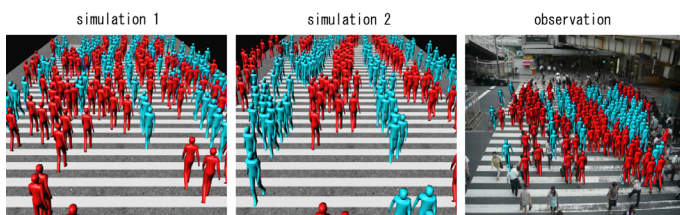


図-3 スナップショット

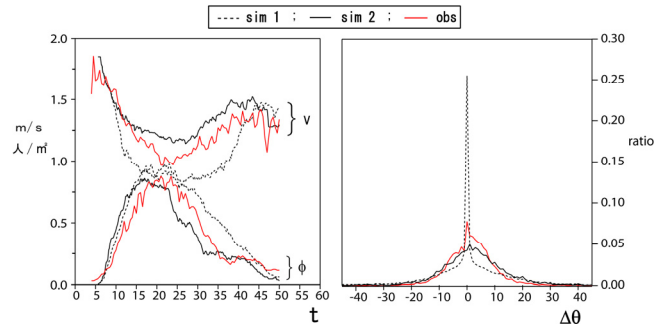


図-4 v と ϕ の時系列 (左) と進行方向角度分散 (右)

4. グループ歩行者対向流シミュレーション

本研究ではグループ行動モデルの計算対象領域として Harmeetら³⁾が観測サイトとした幅 3m, 奥行き 37mのノッティングム大学構内歩道を選定した. 対象とした状況は 2 人組と 3 人組のすれ違い (case1), 2 人組と 3 人組, 2 人組のすれ違い (case2), 4 人組のスプリット (case3) の 3 つである.

紙面の都合上 case2 のみシミュレーション結果と観測結果を図-5 に示すが, いずれの case も良好に観測結果を再現した.

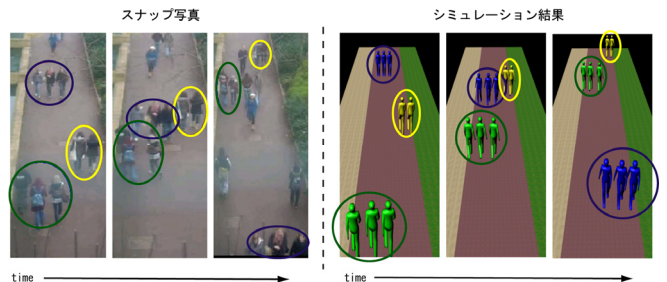


図-5 スナップショット (写真は文献³⁾ より引用)

5. おわりに

本稿では, 周辺歩行者の行動を予測し自身の進行方向を変化させる歩行者モデルと複数人がグループを形成して歩行するモデルを作成し, シミュレーション結果と観測動画との比較から提案モデルの妥当性を示した.

6. 参考文献

- 1) 浅野美帆, 桑原雅夫: 先読み行動を考慮した歩行者交通流シミュレーション, 生産研究, 59 巻 3 号, pp.184-187, 2007.
- 2) 建部謙治, 辻本誠, 志田弘二: 回避行動開始点の判定と前方回避距離 歩行者の回避行動に関する研究(II), 日本建築学会計画系論文集, 第 465 号, pp.95-104, 1994.
- 3) Harmeet Singh, Robyn Arter, Louise Dodd, Paul Langston, Edward Lester, John Drury: Modelling subgroup behaviour in crowd dynamics DEM simulation: Applied Mathematical Modelling 33, pp.4408-4423, 2009.