

# 視線に基づくサブゴール決定過程を取り入れた歩行者モデル

柳 沢 豊<sup>†</sup> 山 田 辰 美<sup>†</sup>  
平 田 圭 二<sup>†</sup> 佐 藤 哲 司<sup>†</sup>

本稿では、障害物が多数存在する空間内で移動する歩行者について、歩行者の視界および視点に注目した新しい移動モデルについて述べる。従来の歩行者モデルでは、障害物を回避するときには、障害物からうける斥力のみを用いていた。そのため、多数の障害物が存在するときにスタックしてしまう。筆者らは、実際の歩行者が障害物を回避するときには、視界の中にある障害物とゴールの位置の情報を利用して、仮のゴール（サブゴール）を設定するという仮説を立てた。そしてこの仮説に基づいた、障害物によってスタックが生じない、新しい歩行者モデルを提案した。本稿ではさらに、仮説を立証するための実験を通して、モデルの妥当性について検証した結果についても述べる。

## Pedestrian Dynamics with Decision of Subgoals Based on Eye-Gaze

YUTAKA YANAGISAWA,<sup>†</sup> TATSUMI YAMADA,<sup>†</sup> KEIJI HIRATA,<sup>†</sup>  
and TETSUJI SATOH<sup>†</sup>

In this paper, we describe pedestrian dynamics in space where many obstacles exist on the way, focused on their eye-gaze. Previous models to simulate pedestrian dynamics decide the direction of a pedestrian based on repellent from obstacles, so that pedestrians can not reach their goal in space where many obstacles exist. To solve this problem, we assume that pedestrians decide temporary subgoals based on their eye-gaze to avoid obstacles, moreover, we present pedestrian dynamics based on the subgoals. In this paper, we explain experiments to obtain the eye-gaze of pedestrians and our method to set subgoals based on the eye-gaze.

### 1. はじめに

近年、商業複合施設や地下商店街など、多数の人間が集まる施設はその規模をよりいっそう拡大する方向にある。施設が巨大化するにともない、効率的な利用や災害時の避難路の確保といった目的から、設計段階における歩行者の動線シミュレーションの重要性が高まっている。さらに、センサなどの計測技術の発展にともない、実際の歩行者の動線（筆者らはこれを歩行軌跡と呼ぶ）を計測し、特徴を分析してモデルを得ることも可能となった。

これまでに提案されている、代表的な歩行者モデルとしては、Social Force Model (SFM) がある<sup>1),2)</sup>。ほかに、重力や電磁気力などの運動方程式に基づく歩行者モデル<sup>3)</sup> や、目的地への接近戦略や障害物の回避戦略をルール化し、そのルールに基づいて移動する歩行者モデルなど<sup>4),5)</sup>、数多くのモデルが提案されている。これらの多くの歩行者モデルは、基本的には目

的地へ直線的に近づく行動をとる。そして、その移動途上に障害物や他の歩行者などが存在している場合、障害物からの斥力を利用して回避する方法が用いられている。このため、目的地が遠い位置にあり、なおかつ障害物の配置が複雑になると、回避行動が複雑化しやすい。障害物が高い密度で配置されている場合には、歩行者が途中でスタックしてしまうこともある。

一方で実際の歩行者は、ゴール地点までの間に障害物があると、まずその障害物を回避することを局地的な目標として行動する。そして、障害物を回避した時点であらためてゴール地点に近づく行動をとる。このことから筆者らは、歩行者が障害物を回避するために、仮のゴール地点（サブゴール）を設定しているという仮説を立てた。この仮説に基づく移動モデルを構築することで、従来モデルの問題点の解決を図る。歩行者がサブゴールを設定する過程においては、歩行者のゴール地点、視界、障害物の三者関係が大きく影響するものと考えられる。

本稿では、従来の Social Force Model をベースに、視界内の障害物の配置状態に基づいてサブゴールを自動的に設定する過程を組み込み、行動決定の過程を 2

<sup>†</sup> NTT コミュニケーション科学基礎研究所  
NTT Communication Science Laboratories

段階に階層化した歩行者モデルを提案する、サブゴールを適切に設定することにより、目的地が視界から遮蔽されたりやや遠距離にあったりするような場合でも、歩行者の行動をシミュレーションすることが可能になる。筆者らはこのモデルを構築するために、まず歩行者の視線と歩行軌跡を取得する実験を行った。そして取得したデータを分析し、歩行者の目的地、視界、および障害物の配置関係から、サブゴールを決定するために必要なパラメータ（サブゴールの位置、サブゴールの有効期間）を求めた。

さらに、提案する歩行者モデルの妥当性を確認するための実験も行った。具体的には、筆者らの提案するサブゴールを設定する過程を取り入れたモデルを用い、実際に歩行データを取得した空間と同条件の仮想空間上で軌跡の計算を行い、その結果を比較した。この結果、提案するサブゴールを設定する方法を用いることにより、実際の歩行者の動きに近い歩行軌跡を算出できることが分かった。

以下2章では、本稿で対象とする歩行者についての前提条件について述べる。次に3章では、ベースとなる歩行者モデルである Social Force Model について概要を述べ、このモデルに必要なパラメータを取得するための実験について説明する。4章で、従来のモデルで発生する問題について述べ、その後、視線、障害物、目的地の関係に基づいたサブゴールを設定する方法について具体的に述べる。また、サブゴールを設定するためにを行ったパラメータ取得実験について説明し、これらのパラメータを用いて得られた歩行者モデルについて述べる。さらに、5章では、提案モデルを用いて歩行者の軌跡を計算した結果についても示す。

## 2. アプローチ

筆者らは、歩行者の最も基礎的な行動原理である、ゴール地点への移動行動と障害物の回避行動について、可能な限り簡潔なモデルを与えることを目的とする。ここではまず、対象とする歩行者の種類を明確にするため、歩行者が受ける外部からの影響の違いにより歩行者を分類する。

これまでに筆者らは、展示会の来場者の歩行軌跡を取得する実験を通して、歩行者が受けるさまざまな影響を観測した。この影響を、次のように分類する。

- ゴール地点の影響：ゴール地点の位置（歩行者から見ての相対的な方向）が既知か未知か。
- 障害物の影響：障害物の有無、障害物による視界の遮蔽の有無。
- 他の歩行者の影響：ゴール地点を共有する歩行者

の有無、ゴール地点を共有しない歩行者の有無。たとえば SFM に代表される避難時の歩行者モデルは「ゴール地点は既知、経路情報は未知、障害物あり、視界の遮蔽は考慮せず、他の歩行者あり」と分類できる。迷路内を移動する歩行者モデルでは、SFM と比べると、視界の遮蔽があり、他の歩行者がいない点で異なる。

これらの影響のうち、ゴール地点の位置が未知である場合は、障害物による視界の遮蔽があると、移動中に歩行者が「ゴール地点がどこにあるか推測する」という探索行動をとる<sup>6),7)</sup>。この探索行動の結果は、歩行者が持つ地形に関する知識に大きく依存し、一意にモデリングすることが難しい。このため、本稿では視界の遮蔽のない、すなわちゴールと歩行者との間の障害物の位置をすべて把握できるような環境下での、歩行モデルを与える方法について述べる。たとえ障害物でゴールが見えなくても、ゴール地点の方向を歩行者が知っており、歩行者はそれに適したルートを考えることができるケースについても「視界の遮蔽がない」ケースとして扱う。なお、将来的にはゴール地点が遮蔽されている場合の推測行動についても実験を行う予定である。

## 3. Social Force Model

### 3.1 概要

Social Force Model (SFM)<sup>2)</sup> は、局地的な情報に基づき歩行者の行動を決定するモデルの中でも、代表的なモデルとして知られている。ここでは、このモデルについての概要を示すとともに、いくつかの記号についての定義を行う。まず、SFM では歩行者は次の4つの力を受けるとされている（図1）。

- (1) ゴール地点から受ける引力  $F_1$
- (2) 障害物から受ける斥力  $F_2$
- (3) 異なるゴール地点に向かう他の歩行者から受ける斥力  $F_3$
- (4) 同じゴール地点に向かう他の歩行者から受ける引力  $F_4$

これらの力のうち  $F_3$  と  $F_4$  については、地形（壁など）から受ける力ではないので、ここでは説明を省略する。次にこれらの力を定義するために必要なパラメータについて説明する。

- 時刻  $t$  の歩行者の速度ベクトル  $v(t)$
- 歩行者にとって望ましい移動速度（スカラー値） $V$
- ゴール地点の位置ベクトル  $p_G$
- 緩衝時間定数（スカラー値） $\tau$
- 歩行者の位置からゴール方向へ向かう単位ベクトル

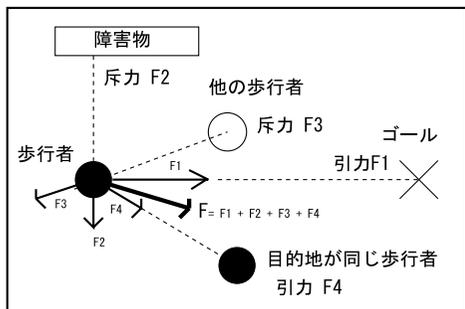


図 1 Social Force Model における 4 つの力  
Fig. 1 Social Force Model.

ル  $e(t)$

この  $e(t)$  は、歩行者の時刻  $t$  の位置  $p(t)$  とゴールの位置  $p_G$  を使って、次の式で与えられる。

$$e(t) = \frac{1}{|p_G - p(t)|} (p_G - p(t))$$

- 時刻  $t$  に障害物  $i$  について歩行者から最も近い点  $r_i(t)$
- 障害物  $i$  に関する緩衝定数  $U_i, R_i$

$F_1$  と  $F_2$  は、上記のパラメータを用いて次のように記述される（ここでは障害物は  $n$  個存在するものとする）。

$$F_1 = \frac{1}{\tau} (V e(t) - v(t)) \tag{1}$$

$$F_2 = \sum_{i=1}^n \frac{p(t) - r_i(t)}{|p(t) - r_i(t)|} U_i e^{-|r_i(t) - p(t)|/R_i} \tag{2}$$

$F_1$  は、歩行者が目的地の方向に歩行者が望む速度で近づこうとする力を表している。一方  $F_2$  は、歩行者が障害物の最も近い点から遠ざかろうとする力を表している。 $e^{-|r_i(t) - p(t)|/R_i}$  で表される項は、障害物から遠くに位置するほど、障害物から遠ざかろうとする力が急速に低下することを表している。

実際に、これらの式を用いて軌跡の計算を行った結果を図 2 に示す。この図からも分かるように、SFM における歩行者に働く最も大きな力は、ゴールに対して直線的に向かおうとする力である。障害物がある場合は、緩やかにこれを避けるように動く。

### 3.2 パラメータ取得実験

SFM では、 $F_1$  と  $F_2$  を計算するうえで用いられるいくつかのパラメータのうち、実際に歩行者を観察しないと求められないパラメータがいくつかある。これらについて、筆者らはまず実験を行って実測値を求め

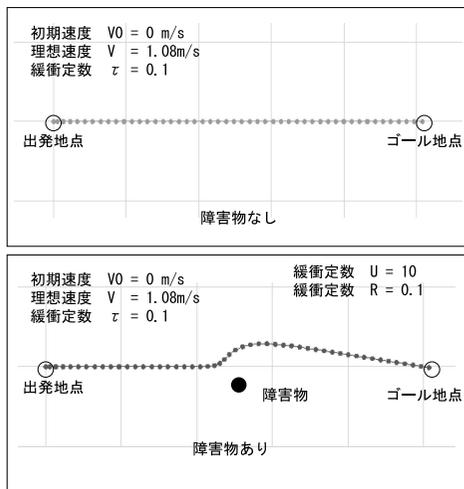


図 2 SFM による歩行者の軌跡の計算結果  
Fig. 2 An example trajectory calculated by SFM.

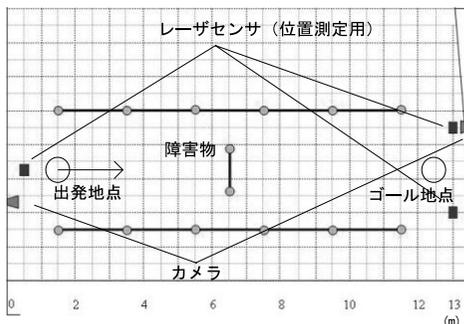


図 3 パラメータ取得実験のセッティング  
Fig. 3 Experimental settings for obtaining parameters of SFM.

た。求めたパラメータは、歩行者の望む移動速度  $V$ 、緩衝時間定数  $\tau$  である。

実験は、屋内に図 3 に示すように障害物を配置した空間を用意し、この中を移動する歩行者 10 人の軌跡を取得した。軌跡の取得には、ドイツ SICK 社のレーザセンサ 3 台と、画像カメラで取得した映像を用いた。このレーザセンサは、歩行者の足の位置を 5 mm ~ 1 cm 程度の誤差以内で自動的に取得できる。センサからの死角が生じることを防ぐため、実験空間全体をカバーできるように 3 台配置した。カメラは、センサによるデータの取得漏れが生じた場合に、データの補完や修正を映像を見ながら修正できるようにするために配置した。このようにして、実際に取得した歩行者のデータの例を図 4 に示す。

このようにして 10 人分のデータを取得し、パラメータの平均値を求めた結果、 $\tau = 0.1, V = 1.08$  (m/s)

文献 2) では  $R_i$  が式中に含まれていないが、このパラメータを省略してもシミュレーション結果に本質的な違いは生じない。

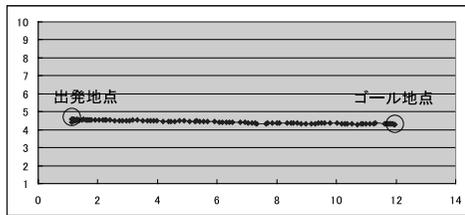


図 4 直線的に移動する歩行者のデータ

Fig. 4 The trajectory of a pedestrian walking on a straight way.

であることが分かった。以降の軌跡の計算では、これらの値を用いる。なお  $U$  と  $R$  の値については歩行者ごとの数値のばらつきが非常に大きかったため、軌跡の計算を行ったとき良好な結果が得られる値  $U = 10$  ,  $R = 0.1$  を用いた。

#### 4. サブゴールモデル

実世界中を移動する歩行者モデルについては、1 章で述べたようにこれまでもいくつかのモデルが提案されている。従来のモデルの多くは、歩行者の出発する地点(出発地点)から、移動の目標となる地点(ゴール地点)が直接視認できるような、単純な地形上で移動する歩行者が想定されている。

一方で、歩行者がゴール地点に向かって歩こうとするとき、ゴール地点までの直線的な経路上に障害物がある場合は、視界内に暫定的な目的地(サブゴール)を設定し、これを目指して歩くと考えるのが自然である。筆者らは、歩行者がサブゴールを設定するときには、歩行者はゴール地点の位置と、歩行者の視界内に存在する障害物の情報を用いているという仮説を立てた。この仮説を立証するために、まず歩行者の視線情報を実験により取得した。そして、この視線情報に基づきサブゴールを決定する、階層的歩行者モデルを構築した。本章では、この実験とモデルについて説明する。

なお本稿では、歩行者からサブゴールまでの距離を  $a$  , サブゴールから障害物までの距離を  $b$  , 障害物からゴール地点までの距離を  $c$  としたとき、 $a+b$  と  $c$  との長さの比が大きくないような、オフィスや小規模な展示会場、小売店舗での、歩行者モデルについて扱う。

##### 4.1 視線に基づくサブゴールの設定法

SFM をはじめとする従来の歩行者モデルの多くは、障害物の配置が単純な空間においては、良い軌跡の計算結果が得られることが示されている。しかし、目的地までの間に複数の障害物が存在するような空間においては、歩行者が目的地にたどり着けないケースが増

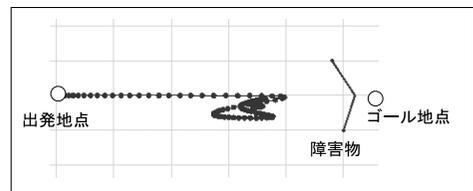


図 5 従来モデルによるスタックの発生

Fig. 5 The interception by obstacles in existing models.

える。たとえば、図 5 のようにゴール地点と出発地点の間を完全に遮るような障害物が存在すると、従来の SFM モデルでは、パラメータである  $U$  や  $R$  をどのように設定してもスタックを起こす。スタックが起きる原因は、目的地と現在位置との間に障害物が存在する場合、障害物から受ける斥力  $F_2$  と目的地からうける引力  $F_1$  が均衡してしまうことにある。

従来モデルの問題を回避するためには、現在位置とゴール地点との間に障害物が生じないようにする必要がある。そこで、本稿ではスタックが生じそうな場合に、障害物に遮られずに到達可能な、一時的な仮の目的地(サブゴール)を設定する方法を提案する。このサブゴールを設定するために、まず以下のような仮説を置いた。

- (1) 歩行者は、ゴール地点と現在位置との間を遮っている障害物が移動の妨げになると感じると、サブゴールを設定する地点を探す。この地点としては、障害物を回避でき、なおかつゴールに極力近い地点を(見て)選ぶ。
- (2) 次に、歩行者はサブゴール地点を決め、この地点に視線を向けた状態で進む。
- (3) サブゴールが不要となった時点で、歩行者は視線をサブゴールからゴール地点に移し、これに向かって進む。

筆者らは、まず以上の(1)から(3)の仮説が正しいことを確認するため、障害物がある場合の歩行者の視線の動きと移動した軌跡を取得する実験を行った。そして、(2)の状態の歩行者の視点を調べることにより、サブゴールとなる地点を求めた。さらに、(2)から(3)に切り替わる地点を調べることで、サブゴールが不要になるタイミングを求めた。

##### 4.2 軌跡と視線の取得実験

実験は、図 6 に示すように、出発地点とゴール地点を遮る障害物を配置し、この状態での歩行者の軌跡を取得した。また軌跡を取得すると同時に、歩行者に視線を取得する装置(アイマークレコーダ EMR-8B)を装備させ、歩行中の視線(視点)の変化を取得した。実際に軌跡を取得する実験を実施している様子を図 7

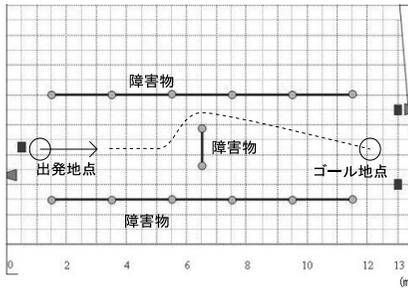


図 6 視線と軌跡を取得する実験のセッティング

Fig. 6 Experimental settings for obtaining eye-gaze and trajectories.



図 7 視線と軌跡を取得する実験の様子

Fig. 7 An experiment for obtaining both eye-gaze and a trajectory of a pedestrian.

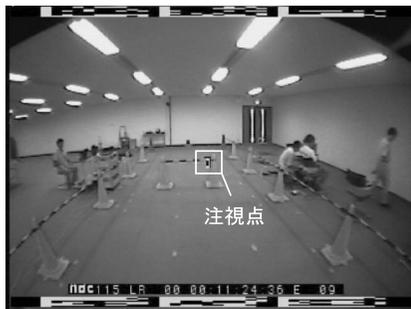


図 8 注視点 (視線) の取得画像

Fig. 8 A gazing point of a pedestrian.

に示す. このようにして, 計 10 人の軌跡と視線のデータを収集した. 視点を取得している画像の例を図 8 に示す. 視線の変化は, 実装したツールを用いて, 視線画像とカメラ画像の両方を用い, 各被験者がどこを見ながら歩いたかを手作業で抽出した. ツールの外観と, 視線を抽出する様子を図 9 に示す.

この実験の結果, 図 10 と表 1 に示すような軌跡および視線の推移が得られた. 歩行者の軌跡としては, 障害物を通過する前の段階で 2 種類の形状 (図 10 中の A, B) を, また通過後も 2 種類の形状 (図 10

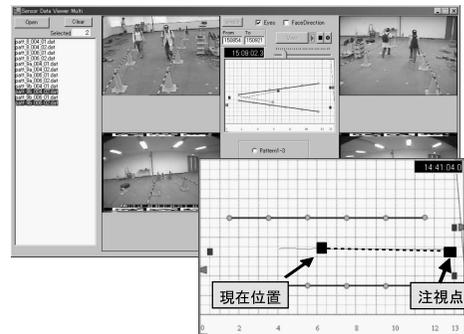


図 9 視点を抽出するツール

Fig. 9 Our implemented utility for extraction of gazing points.

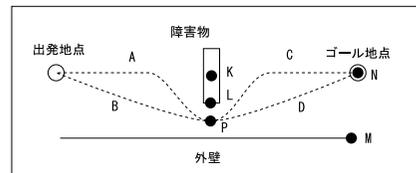


図 10 観測された軌跡

Fig. 10 A trajectory of a pedestrian.

表 1 観測された軌跡と視線の関係

Table 1 Relationships between trajectories and eye-gaze.

移動経路	視線の推移	観測された被験者数
B → D	L → N	2 人
B → D	L → M → N	4 人
A → C	K → L → N	1 人
A → D	K → L → N	1 人
A → C	K → L → M → N	2 人

中の C, D) が観測された. 経路としては A → C, A → D, B → D は観測されたが, B → C という経路は観測されなかった. また歩行中の視点としては, 障害物の中心点 (図 10 中の K), 障害物の端点 (同図 L), 外壁の終端点 (同図 M), ゴール地点 (同図 N) の 4 つの地点があることが分かった.

軌跡との相関性については, 表 1 中からいくつか読み取れる. まず, 経路 A を通る歩行者は必ず障害物の中心点 K をサブゴールに選び, 次に障害物の端点 L を見ている. また経路 C を通る歩行者は, 障害物を通過する地点 P に達するまで L を見続けている. 経路 B → D を通る歩行者は, 最初は障害物の端点 L を見ているが, L に約 2m 程度まで近づくと視点を外壁の終端点 M へうつし, P を越えて約 1m 程度歩いた後にゴール地点 N を見るという共通の特徴が見られた.

以上の実験結果をまとめると, サブゴールを設定

するパターンは、以下のように 5 通りあることが分かった。

- (1) 歩行者は、障害物の端点の外側の点（今回の実験では約 1m の点）にサブゴールを設定する。
- (2) 歩行者は、サブゴールにある程度（今回の実験では約 2m まで）近づくと、そのサブゴールを破棄し、ゴール地点へ向かおうとする。
- (3) 歩行者は、障害物にある程度（今回の実験では約 2m まで）近づくと、障害物の中心部をサブゴールに設定することがある。
- (4) 歩行者は、障害物を回避した後に、障害物とゴールを結ぶ線上にサブゴールを設定することがある。
- (5) 歩行者は、障害物にある程度（今回の実験では約 2m まで）近づくと、進行方向の直線上にある物体をサブゴールとして設定することがある。

このうち、パターン (1) と (2) はすべての歩行者について観測されており、障害物の回避モデルとして利用できる。(3)~(5) については一部の歩行者について観測されたものであり、これらの違いについては、インタビューにより原因を探った。

A や C の経路を通った被験者、すなわちパターン (3)、(4) のようなサブゴールの設定を行った被験者は、できるだけ出発点とゴール地点を結ぶ線（中央線）に沿って移動しようという、恣意が働いたためであることが分かった。被験者への指示には、中央線に沿うようにという指示は行っていないが、このケースでは被験者が独断でそのように移動していた。つまり A の経路では、障害物を回避する行動を始めるまで、K の地点にサブゴールを設定している。同様に C では、中央線へ戻った位置をサブゴール地点として、被験者が設定していると解釈できる。

このようにサブゴールを設定すると、障害物を回避する見かけ上の経路は B、D の経路と違いが生じる。しかし、A、C の経路を通った場合でも「障害物の端点にサブゴールを設定する」という仮説は成り立っており、これらの結果は仮説と相反するものではない。また、障害物を避けるという効用を得るうえで、A、B のいずれの経路を選択しても違いはない。このことから、パターン (3)、(4) のサブゴールの設定については、歩行者モデルには取り入れなくても、一般性を失わないと考えられる。

パターン (5) のサブゴールの設定については、被験者へのインタビューの結果、パターン (1) により障害物の端点に設定したサブゴールに関して、この地点に視覚的な目標物がなかったため、その代用として視

線上にあった目標物をサブゴールに選んでいたことが分かった。つまり、歩行者は実質的にはパターン (1) で設定したサブゴールを目指して歩いており、パターン (5) のサブゴールは補助的に使っているにすぎない。このことから、パターン (5) によって設定するサブゴールを歩行者モデルに導入しなくても、一般性は失われないといえる。

#### 4.3 歩行者モデルと軌跡の計算

実験の結果と前節での議論をもとに、筆者らはサブゴール設定のパターン (1)、(2) に基づき、B、D の経路を通るような、次のようなサブゴールの設定方法を提案する。なお、下記文中の数値は、実験での実測により求めたものである。

- (1) 歩行者は障害物が存在する場合、ゴール地点と現在地点を遮る障害物を避けうる点（端点から 1m 外側）をサブゴールとする。
- (2) 歩行者は、サブゴールから 2m 以内にまで近寄ると、当初のゴール地点をゴールとしなおす。
- (3) サブゴール（もしくはゴール）と歩行者の現在地点との間に障害物が存在する場合は、さらにその障害物に関する別のサブゴールを設定する。

以上の方法に基づく、歩行者の移動アルゴリズムを図 11 に示す。この方法のうち、(3) によるサブゴールの設定は、障害物が複数存在する場合に対応するためのものである。複数の障害物が存在するケースについての実験は行っていないが、サブゴールとの間に障害物が存在する場合、さらなるサブゴールを設定することは、実験結果から推測できる。このことから、筆者らは (3) のサブゴール設定方法を取り入れた。

ゴール地点と現在地点とを遮る障害物については、2 章で述べたようにすべての障害物が視界内にあることを前提としている。具体的なサブゴールの設定方法について、いくつか例を示す。

図 12 の (a) のように、ゴール地点と現在地点との間にある障害物が 1 つしかない場合は、障害物の端点のうち、より中心線から近いほうにサブゴールを設定する。一方で、(b) のように 2 つの障害物がある場合でも同様で、よりゴール地点までの空間を大きく遮蔽する障害物の、中心線から最も近い端点を選ぶ。さらに、(c) のように多少迷路状に障害物が配置されていても、最も近い端点を探すことで回避できる。

一方で (d) のように、最も近い端点をたどっていてもゴール地点まで到達しない可能性もある。このような障害物の配置が非常に複雑な場合は、2 章で述べた「探索」行動をモデルに追加して解決を図る必要がある。これは今後の課題の 1 つである。

```

INPUT: 0      := (o1, ... , on) : OList
        "n 個の障害物"
    p_start := (x,y) : Point
        "歩行者の初期位置座標"
    p_goal  := (x,y) : Point
        "歩行者の目指すゴール地点の座標"
OUTPUT: P := ( p1, ... pm ) : PList
        "ゴール地点までの, 歩行者の移動軌跡"
"p_start から p_goal までの軌跡を生成する関数"
function Trajectory( 0, p_start, pg ) : PList
begin
    var P := null PList;
    var p := p_start Point;
    var p_sub := p_goal Point;    "サブゴール地点"
    while ( p != pg ) do "ゴール地点に到達するまで繰り返す."
    begin
        subgoal := subgoal( p_goal, p_sub, p, 0 );
        p := p + SFM に基づいて算出した加速度 (ax, ay)
            P に p を追加;
    end;
    return P;
end.

```

```

INPUT: p_goal, p_sub "現在のサブゴール", p : Point
    0 : OList
OUTPUT: p_new : Point "新しいサブゴール"
"必要に応じてサブゴールを設定する関数 Subgoal"
function Subgoal( p_goal, p_sub, p, 0 ) : Point
begin
    if ( p_sub と 0 の間を遮る o が 0 に存在する ) then
    begin
        p_cross := p と p_sub を結ぶ直線と o との交点;
        p_sub := p_cross を中心に, p からみて左右方向に
            走査し, o の端点を探す. より近い側の端点の
            外側 +1 m の地点を p_sub とする;
        p_sub := Subgoal( p_goal, p_sub, p, 0 )
    end;
    else if ( |p_sub - p| < 2m and
        p_sub と p の間を遮る o が存在しない ) then
        p_sub = Subgoal( p_goal, p_goal, p, 0 );
    return p_sub;
end.

```

図 11 サブゴールの設定過程を含む移動アルゴリズム

Fig. 11 The algorithm for simulation of pedestrians.

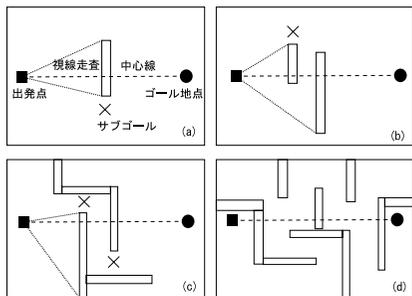


図 12 サブゴール決定の例

Fig. 12 Examples of sub-goals.

### 5. シミュレーション実験

ここまでの実験によって求めたパラメータとサブゴール設定方法に基づいて、歩行者の軌跡を計算した。この計算結果を図 13 (上) に示す。この軌跡は、実験で得られた軌跡の  $B \rightarrow D$  (図 13 (下)) に最も近い結果になる。外壁上の点  $L$  については、実際の歩行者はサブゴールとして用いてはいるが、モデル上これを組み込まなくても大きな影響はでない。

また、架空の地形をいくつか用意してシミュレーションを行った。その 1 つを図 14 と図 15 に示す。図 14 は、サブゴールを用いずに SFM のみで経路を計算した結果である。なお、図 14 と図 15 の、歩行者の出発地点とゴール地点は同じ点である。SFM では、図に示すとおり経路上にわずかに曲がり角が存在するだ

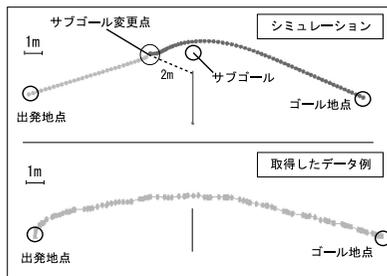


図 13 シミュレーション結果 (1)

Fig. 13 A result of our simulation (1).

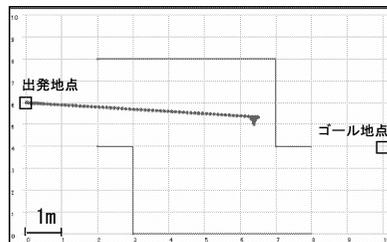


図 14 シミュレーション結果 (2)

Fig. 14 A result of our simulation (2).

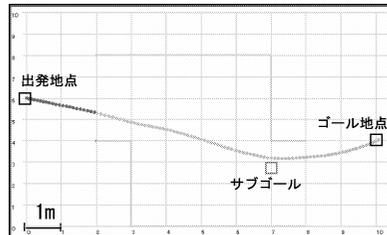


図 15 シミュレーション結果 (3)

Fig. 15 A result of our simulation (3).

けで、SFMのパラメータである  $U$  や  $R$  をどのように設定しても、スタックを起こす。それに対し、サブゴールを用いると、障害となる部分を回避してゴールに到達することができている。

以上の計算結果から、ゴール地点との間を遮る障害物が存在する場合でも、これを避けて移動する歩行者モデルが構築できていることが確認できた。

## 6. おわりに

本稿では、出発地点とゴール地点の間に障害物が存在する場合でも、サブゴールを設定することにより、スタックすることなくゴール地点に到達することができる歩行者モデルについて述べた。また、実際の歩行者の視線データを用いて、サブゴールを設定する位置や、サブゴールを切り替えるタイミングを求めた。今後は、歩行者による軌跡および視点の違いがどのような理由により生じるのかについて調査を行うことで、より実際の歩行者に近いモデルを構築する必要がある。また同時に、より複雑な地形上で本モデルが有効かどうかを検証していく予定である。

## 参考文献

- 1) Helbing, D., Farkas, I.J. and Vicsek, T.: Simulating dynamical features of escape panic, *Nature*, Vol.407, pp.487–490 (2000).
- 2) Helbing, D. and Molnar, P.: Social force model for pedestrian dynamics, *Physical Review E*, Vol.51, pp.4282–4286 (1995).
- 3) 小松利彰, 土方嘉徳, 才脇直樹, 西田正吾: カオスと電荷モデルを用いた群集行動のモデリングと生成, *電気学会論文誌*, Vol.121-C, No.1, pp.118–126 (2001).
- 4) Braun, A., Musse, S.R., de Oliveira, L.P.L. and Bodmann, B.E.J.: Modeling Individual Behaviors in Crowd Simulation, *Proc. CASA 2003*, pp.143–148 (2003).
- 5) Sung, M., Gleicher, M. and Chenney, S.: Scalable behaviors for Crowd Simulation, *Computer Graphics Forum*, Vol.23, No.3, pp.519–528 (2004).
- 6) 北濱 亨, 岡崎甚幸, 徳永貴士: 迷路探索歩行時の注視と歩行に関する研究, *人間工学*, Vol.35, No.3, pp.145–155 (1996).
- 7) 山田辰美, 柳沢 豊, 平田圭二, 佐藤哲司: 移動軌跡と頭部の向きに基づく歩行者の行動意味づけ方法, *情報処理学会論文誌*, Vol.46, No.9, pp.2250–2259 (2005).

(平成 17 年 11 月 30 日受付)

(平成 18 年 5 月 9 日採録)



柳沢 豊 (正会員)

平成 10 (1998) 年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻博士後期課程修了。同年日本電信電話株式会社入社。NTT 基礎研究所入所。現在、NTT コミュニケーション科学基礎研究所、研究主任。博士 (工学)。空間データベース、センサネットワーク、移動オブジェクトの研究に従事。情報処理学会ほか 4 学会の会員。



山田 辰美

昭和 63 (1988) 年九州芸術工業大学芸術工学部画像設計工学科卒業。平成 2 (1990) 年同大学大学院修士課程修了。同年 NTT インターフェース研究所入所。以来、CG モデリング技術、シームレステクスチャ生成技術、人物トラッキング技術の研究、埋設管探査装置、鳥害検査装置の開発に従事。現在、NTT コミュニケーション科学基礎研究所、主任研究員。博士 (芸術工学)。画像処理、CG、インタラクションに興味を持つ。電子情報通信学会会員。



平田 圭二 (正会員)

昭和 62 (1987) 年東京大学大学院工学系研究科情報工学専門課程博士課程修了。工学博士。平成 2 (1990)~3 (1993) 年 (財) 新世代コンピュータ技術開発機構 (ICOT)。平成 13 (2001) 年度論文賞, 平成 15 (2003) 年度山下記念研究賞。本会理事。音楽情報処理に興味を持つ。t-Room プロジェクトを推進中。



佐藤 哲司 (正会員)

昭和 55 (1980) 年山梨大学工学部電子工学科卒業。同年日本電信電話公社 (現 NTT) 武蔵野電気通信研究所に入社。論理回路の大規模一括集積技術, データベースマシン, マルチメディアデータベースシステムの研究・開発に従事。平成 6 (1994) 年工学博士 (大阪大学) 取得。現在、NTT コミュニケーション科学基礎研究所, 主幹研究員。分散並列処理, マルチメディアデータベース, 情報検索・流通アーキテクチャ, 社会インタラクションに興味を持つ。電子情報通信学会会員。