論文

人工生命的手法とファジィ推論を用いた
避難行動に関する研究[†]

香川 秀樹* 萩原 将文*

本論文では、人工生命とファジィ推論を用いた避難行動に関する研究を行う。避難行動に関する従来の研究の多くは避難者にあらかじめ避難経路を与えてあり、時々刻々と変化する火災状況に応じて避難経路を選択できないものが多かった。そうした中、横山ら[15]は状況に応じて避難経路を選択できるポテンシャルモデルを提案した。しかし、実際の避難行動では誘導員による避難誘導があることや、高齢者などの身体的能力の劣る人が混在しているなどの問題がある。また、避難者の心理状態も避難行動に大きな影響を与える。本論文では、横山らのポテンシャルモデルを基に、高齢者や誘導員などの役割の異なる避難者を人工生命個体として、また危険意識などの心理状態をファジィ推論で扱うことにより、個体の群行動を用いた新しい避難行動モデルの提案を行う。モデルの特徴としては、個体間の相互作用により精確で複雑な避難行動が扱えることや、避難行動に関する様々な知見が得られることが挙げられる。計算機実験によって、提案モデルの有効性を確認している。

キーワード：人工生命、ファジィ推論、避難行動、群行動

1 はじめに

近年、建築物の大規模化、複合化にともない、災害時における防災計画を立てることは大変重要である。一般に防災計画においては、建築物の企画、設計段階における対策と建築物が完成した後の運営的な対策が必要である。建築物の企画、設計段階における対策はあらゆる災害の状況を考慮して行われなければならない。しかし、実際に災害が起こるのは建築物が完成した後であり、運営的な対策は災害時の安全性に直接影響を与えるため大変重要となる[1-2]。

しかし、このような安全性を評価するために、実際の建築物で火災を発生させ、避難行動を調査することは非常に困難である。そこでコンピュータを用いて避難行動を再現することが有効となる。こうした中、避難行動シミュレーションに関する研究が盛んに行われてきている[3-16]。

避難行動シミュレーションを行う上では空間、避難者、火災の3つの要素の相互作用問題を取り扱う必要がある。このため、モデルではこれらの3つの要素が要素間の関係を考慮して適切に表現され、各要素が避難行動に与える影響を評価できることが重要となる。

避難行動シミュレーションにおける建築物内部の空間のモデル化には、大きく2つの方法が挙げられる。

1つ目は空間の幾何学的形状を忠実にモデル化する方法、2つ目は空間をネットワーク表現[3-9]、あるいはメッシュ分割[10]してモデル化する方法である。

空間の幾何学的形状を忠実にモデル化する方法では、空間の局所的な状態に依存した避難者の挙動を把握する場合に適している。

空間をネットワーク表現、あるいはメッシュ分割してモデル化する方法では、避難者の大局的な推移を把握する場合に適している。空間のモデル化は避難行動で評価する内容と避難者のモデル化の方法に依存して、その方法を決定することが必要である。

避難行動シミュレーションにおける避難者のモデル化には、大きく2つの方法が挙げられる。1つ目は避難者個々に重点をおいてモデル化する方法[7][9][14]、2つ目は群集を中心にモデル化する方法[10]である。

避難者個々に重点をおいてモデル化する方法では、避難者数が多い場合には計算量が増えてしまう欠点がある。しかし、避難者の特性にばらつきを持たせて、避難者相互の関係や局所的な状況変化に応じた避難行動を評価する場合に有効である。このモデルでは、空間の幾何学的形状を忠実にモデル化した空間モデルと組み合わせるとより有効になる。

群集を中心にモデル化する方法では、局所的な状況変化に対応できないことや避難者個々の特性を反映できない欠点がある。しかし、計算量が少なく、ネットワーク表現、メッシュ分割された空間モデルと組み合わせると、グラフ理論やネットワーク理論あるいは待ち行列理論を用いて、避難者の避難行動を大局的に評価できる[11-12]。

[†] A Study on Evacuation Behavior Artificial Life Approach and Fuzzy Inference

Hideki KAGAWA and Masafumi HAGIWARA

*慶應義塾大学

Keio University

図1 提案モデルの概略

避難行動シミュレーションにおける火災のモデル化に関しては統一された方法はない。代表的なものとして火災を独立して扱い、火や煙の伝播をあらかじめ入力条件として導入する方法[5][6][10]がある。

横山らは避難口までの経路決定や時々刻々と変化する火災状況も考慮できる新しいモデルを提案した[15]。このモデルでは、空間をネットワーク表現し、避難口までの経路や火災状況をポテンシャルで規定することで、局所的な状況変化に応じた柔軟な避難行動が比較的容易に扱える。しかし、避難安全性に大きな影響を与える避難者の心理状態が考慮されていない。

また、位寄らは避難者の認識と心理状態を考慮したモデルを提案した[16]。しかし、このモデルでは避難行動を再現するだけであり、災害時に活動する誘導員の役割や、高齢者などが混在するといった問題に考察を与えることができない。

本論文では、モデル化が比較的容易な横山のポテンシャルモデルを基に、高齢者や誘導員などの役割の異なる避難者を人工生命個体として、また危険意識などの心理状態をファジィ推論で扱う。これにより個体の群行動を用いた新しい避難行動モデルの提案を行う。さらに、個体間での情報伝達の有無による避難効率の変化や誘導員の設定による避難効率の変化などについても検討を行い、その効果を明らかにする。人工生命個体を用いる利点としては、簡単な行動規則を与えられた複数の個体間の相互作用により、複雑な避難行動が再現できることや、避難行動に関する知見が得られることが挙げられる。

2章では提案するモデルの構成について説明する。

図2 空間のモデル化

図3 火災のモデル化

3章では複数の地下街モデルを用いて計算機実験を行う。ここでは個体の群行動による避難行動を調べ、様々な知見を得る。4章では結論を述べる。

2 人工生命的手法とファジィ推論を用いた避難行動に関する研究

人工生命[17-23]にはまだ厳密な定義はない。本論文で提案する人工生命的手法とは、簡単な規則を与えられた人工生命個体が、情報伝達や行動規則の変更などを通して相互作用しながら複雑な避難行動を行うものとしている。また、個体には一般人、誘導員、高齢者の3種類を仮定し、それぞれ次の規則に従うものとしている。

まず、各個体はランダムに配置される。経路を知っている一般人や高齢者は近くの非常口を目指し避難を行う。経路を知らない一般人や高齢者は誘導員に出会うまで探索歩行、または他の個体に追従する動きをする。そして誘導員に出会うと経路を知り、近くの非常口を目指し移動を行う。誘導員以外の個体はファジィ推論によって逐次危険意識が推定され、その程度によって、誘導員以外の経路を知っている個体からも経路を知ることができるようになったり、あるいはパニックに陥ったりする。本論文ではこれにより避難行動をシミュレートするものである。

図4 個体の種類

提案モデルは図1に示されるように空間モデル、火災モデル、人工生命モデルから構成される。以下順にこれらのモデルについて具体的な説明を行う。

2.1 空間モデル

建築物内部の空間は、ノードとリンクから構成されるネットワークを用いたモデル化が行われる。図2に空間のモデル化の様子を示す。図2におけるリンク部分は空間の通路部分を表し、ノードはそれら通路と通路の交差点または非常口を表している。なおリンクには通路の幅が考慮されている。

2.2 火災モデル

実際の火災による煙の拡散は、天井を伝わって遠方の空間から降下するという3次元的な挙動をするなど複雑であるため、モデル化が大変困難である。そこで本論文では、火災は2次元空間における第一近似として、煙の拡散は火災の発生点から同心円状に等速度で拡散するというモデルとした[13]。この理由は、本論文では対象とする空間モデルとして百貨店の売場や地下街などを想定しているため、このような火災モデルであっても十分対応できると考えられる。しかし、より精密な火災のモデル化は今後の課題である。

図3に火災のモデル化の様子を示す。火災が発生するとまず、煙が速度 $v_s[m/s]$ で同心円状に広がる。続いて火が速度 $v_f[m/s]$ で同心円状に広がるものと仮定する。なお火災は任意のノード上で発生するものとしている。

2.3 人工生命モデル

本論文では避難者や誘導員を人工生命個体として扱う。人工生命個体には図4に示されるように、一般人、誘導員、高齢者の3種類を設定する。

一般人は普通の個体であり、高齢者は一般人より移動速度が遅いといった身体的能力の劣る個体である。一般人、高齢者の中には避難経路を知らない個体がそ

図5 方向決定の様子

れぞれ $a\%$ ずついる。ただし本論文では避難経路をあいまいに知っている場合は扱わず、避難経路を知っている場合は全て非常口の位置を知っているものとする。

誘導員は一般人と同じ身体能力をもち、避難経路を知らない一般人や高齢者に出会うと近くの非常口までの経路を教える役割をする。なお全ての誘導員は的確な避難経路を知っているものとする。

また通常は一般人や高齢者間での情報伝達はないが、2.3.4で説明するように、危険意識がある程度高い状態では、避難経路を教え合うことができるものとする。

2.3.1 方向決定および移動

個体の避難行動における方向決定には、横山らの研究[15]で提案された式(1)を用いる。これは非常口で無限小になるようなポテンシャル分布 $P(x,y)$ である。各ノードにポテンシャル $P(x,y)$ が与えられ、個体は隣接するノードのポテンシャル値が最小のノードを目的方向とする。

$$P(x,y) = - \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k(x,y)} \quad (1)$$

ここで $R_k(x,y)$ は、個体が経路を知っている場合には、位置 (x,y) から k 番目の非常口までの距離である。また個体が経路を知らない場合には、 $R_k(x,y)$ は空間の大きさで正規化したランダムな値とする。 n は非常口の数である。

図5に個体が方向を決定する様子を示す。図5のノード上に書かれた数字はポテンシャル値 $P(x,y)$ の値である。この場合、ノード3にいる個体は隣接する各ノードのポテンシャル値を比較し、そのうちの最小の値をもつノード1が目的方向となる。そして個体は目的方向へのベクトル $\vec{v}_d$ を逐次計算し、移動先が通路上であり他の個体がいなければ、その位置へ移動する。移動先が壁であったり他の個体がいれば、それ以外の方向にランダムに移動する。なお、個体の密度が高くなり移動することのできるスペースがない場合には、個体

図6 誘導員による情報伝達の様子

図7 付いて行く個体を探す様子

は停留する。このような個体の方向決定はリンク上で行われる。式(2)は個体の移動式である。

$$\vec{y} = \vec{x} + \frac{v_a}{|\vec{v}_d|} \vec{v}_d \quad (2)$$

ここで $\vec{y}$ は移動予定先の座標、 $\vec{x}$ は現在の座標、 v_a は個体の移動速度、 $\vec{v}_d$ は目的方向へのベクトルである。

また、火や煙が到達したノードのポテンシャル値は最大値の0とする。これにより、火や煙が到達したノードは他の到達していないノードよりポテンシャル値が高くなるので、個体が火や煙から逃げる動きを再現することができるようになる。

なお通路の幅や個体などの詳細な点については、後述の表1に示されている。個体の移動速度については、火災発生直後には一般人、高齢者、誘導員はそれぞれ異なる移動速度、 v_1 、 v_2 、 v_3 が持たせてあり、火や煙に巻かれると移動速度をそれぞれ、 v_1 、 v_2 、 v_3 に上げるものとする。

火からの距離 \ 群衆密度	低い	高い
近い	意識する	かなり意識する
遠い	意識しない	意識する

危険を意識する度合

図8 ファジィ推論の規則

2.3.2 経路を知らない個体(一般人、高齢者)

一般人と高齢者の中には $a\%$ の割合で避難経路を知らない個体がいる。経路を知らない個体は、誘導員の距離が F_c 以内になったとき情報伝達が可能となり経路を知ることができる。図6に誘導員による情報伝達の様子を示す。

経路を知らない個体の中には、 $b\%$ の割合で他の個体に追従する個体がいる。図7にこの追従する個体が方向を決定する様子を示す。追従する個体はある範囲(F_f)を見渡し、その範囲の中で最も多くの個体が目的とするノードを自分の目的方向とする。ただし見渡し範囲は図7に示されるように半径 F_f の円内における直線方向の範囲とする。この場合は、見渡し範囲内にノード1へ向かう個体が2つ、ノード3へ向かう個体が3つなので、個体はノード3を目的方向とし移動を行う。

経路を知らない個体の内、それ以外の追従しない($100-b\%$)の個体は $R_k(x, y)$ をランダムな値とする式(1)により目的方向を決定し、探索歩行を行う。

また2.3.4で説明するように、個体の危険意識がある程度高くなると、経路を知らない個体は誘導員以外の経路を知っている個体からも情報伝達が可能となり、経路を知ることができる。

2.3.3 個体の死滅

個体にはエネルギー E が持たせてあり、火や煙に巻かれるとそれぞれある割合 E_f 、 E_s だけエネルギーが消費され、エネルギーがなくなると個体は死滅するものとする。

2.3.4 ファジィ推論

心理学の分野で災害時における人間の心理状態は盛んに研究されている[24-26]。しかし人間の心理状態については工学的に定量化しにくいいため、心理状態を反映できる避難行動シミュレーションモデルの実現に障害となっている。提案モデルでは人間の心理状態のう

図9 メンバシップ関数

図10 ファジイ推論(重心法)

ちで危険意識の度合いをファジイ推論で予測し、個体の避難行動に反映する。これはファジイ推論では人間の主観を言語的に扱うことができること、推論規則や推論過程が把握しやすく扱いやすいなどの特徴があるためである。

提案モデルのファジイ推論では図8に示されるような簡単な推論規則とした。災害時においては群集密度と危険意識には次のような関係があると言われている[24][27]。すなわち群集密度が高くなると、競争動因によってあせりや苛立ちが誘発される。そして恐怖や不安が相互に投射され、増幅される。さらに身体的自由の拘束によって不快感が高じるなどにより危険意識が高まる。また火災からの距離が近い程、人は危険意識が高まる。この危険意識が極端に高まると人間は興奮状態になり、群集パニックが起こる。

ファジイ推論におけるメンバーシップ関数は簡単のため図10に示されるような単調減少・単調増加関数とし、ファジイ推論には重心法を用いる。ここで重心法を用いた理由は、重心法では規則の前件部、後件部とも言葉に対応させることができ、心理状態を表す言語

図11 空間モデル(地下街)

図12 群行動による迂回経路

を規則に取り入れやすいためである。

2.3.5 行動規則の変更

提案モデルではファジイ推論により危険意識 d を予測し、その危険意識の度合いによって次のように個体の行動規則を変更する。なお誘導員の行動規則は変更しないものとする。

- 1) 危険意識 d が $d1 \leq d \leq d2$ の場合、避難経路を知らない個体は誘導員以外の避難経路を知っている一般人や高齢者からも情報伝達が可能となり、経路を知ることができる。また一般人、高齢者の移動速度はそれぞれ v_1 、 v_2 に上昇する。なお本論文では $d1=0.7$ 、 $d2=0.9$ としている。
- 2) 危険意識 d が $d2 \leq d \leq 1.0$ の場合、群集パニックが起こるものとして避難経路を知っている個体は避難経路が分からなくなる。また一般人、高齢者の移動速度はそれぞれ v_1 、 v_2 に上昇する。

表1 パラメータ

個体数/地下街の面積	0.05[人/m ²]
経路既知の個体の割合 a	50[%]
追従する個体の割合 b	20[%]
個体の大きさ(幅)	3
情報伝達可能な領域の半径 F_c	5
追従する個体を探す範囲 F_f	25
一般人：高齢者：誘導員	7：2：1
一般人の通常速度 v_1	1.33[m/s]
高齢者の通常速度 v_2	0.80[m/s]
誘導員の通常速度 v_3	0.90[m/s]
一般人の速い速度 v'_1	3.00[m/s]
高齢者の速い速度 v'_2	1.50[m/s]
誘導員の速い速度 v'_3	2.00[m/s]
火の拡散速度 v_f	0.80[m/s]
煙の拡散速度 v_s	1.50[m/s]
個体の初期エネルギー	100
煙によるエネルギー消費	10
火によるエネルギー消費	20
火から近い上限 $dist1$	50.0[m]
火から遠い下限 $dist2$	200[m]
個体密度が低い上限 $dens1$	2.0[人/m ²]
個体密度が高い下限 $dens2$	8.0[人/m ²]
行動規則を変更する危険意識 $d1$	0.7
行動規則を変更する危険意識 $d2$	0.9

表2 地下街のサイズと個体数

	池袋	東京	横浜	名古屋
サイズ	190×190	800×175	400×175	160×240
個体数	200	778	389	213

3 計算機実験

実際の地下街をモデル化した空間に提案モデルを適用し、計算機実験を行った。図11に実験で用いた空間モデルを示す。表1には実験で用いたパラメータを示す。なお通路の幅や個体などの詳細な点については、後述の表1に示されている。一般人の通常速度、一般人の速い速度は、それぞれ人間の平均的な歩行速度、小走りとして文献[28]に基づく値を用いた。火の速度、煙の速度は文献[13]に基づく値を用いた。群衆密度が低いとみなす上限、群衆密度が高いとみなす下限は文献[1]に基づく値を用いた。それ以外のパラメータに関しては予備実験より経験的に設定した。

表3 情報伝達の有無による比較で用いたパラメータ

	提案モデル	従来モデル
経路既知の個体	50%	50%
個体の種類	一般人：誘導員 = 8：2	一般人のみ(情報伝達なし)

図13 地下街に残っている個体数の時間的推移

表2に各地下街のサイズと個体数を示す。各地下街のサイズは、個体の大きさを基に実際の地下街と比率がほぼ同じになるように設定した。また各地下街で用いる個体数は、単位面積あたりの個体数が一定となるように設定した。

3.1 人工生命個体の振舞い

人工生命個体を空間にランダムにばらまき、火災を発生させ個体の振舞いを調べた。図12に人工生命個体により得られた避難経路を示す。図12の中心部の丸の位置で火災が発生した場合、個体は群衆として図12に示されるような迂回経路をたどった。この理由は次のように考えられる。始め個体には経路を知らないものや経路を知っているものが混在する。経路を知らない個体が経路を知るためには誘導員に出会うか、危険意識がある程度高まった状態で経路を知った個体に出会う必要がある。経路を知らない個体は他の個体に追従するか、探索歩行を行うので、火に近づくような動きもみせる。しかし、火に近付いたり他の個体が集まり個体密度が高まってくると、危険意識が高くなる。ある程度危険意識が高まってくると、個体の行動規則の変更により、経路を知らない個体は誘導員に出会わなくとも経路を知っている他の個体から情報伝達が可能となる。これにより個体は経路を知ることができる。この局所的な個体間の相互作用が次々と周囲の個体に伝播する結果、個々の個体はあたかも群衆として統制のとれた動きをするものと考えられる。

(a)犠牲者の多い危険な道路

(b)誘導員の配置場所

図14 犠牲者の多かった通路と誘導員配置

表4 誘導員の有無と犠牲者数、避難完了時間

誘導員	犠牲者数[人]	避難完了時間[s]
なし	67	102
あり(ランダムに配置)	51	91
あり(危険通路に配置)	44	89

3.2 情報伝達の有無による結果の比較

図13に地下街に残っている個体数の時間推移について提案モデルと、個体間で情報伝達のない従来モデルで比較実験した結果を示す。空間モデルには東京駅八重洲地下街のモデルを用いた。表3に比較実験で用いたパラメータを示す。それ以外のパラメータは表1と同じ値を用いた。なお提案モデルにおける経路既知の個体の割合の中には誘導員も含まれる。ここでは、個体間での情報伝達の有無による結果の違いを比較するため、提案モデルでは危険意識の高まりによる行動規則の変更は行わないものとした。

これによると提案モデルの方が早く避難が完了していることが分かる。各モデルによる犠牲者数は、提案モデルでは54人(7.0%)従来モデルでは98人(12.6%)であった。すなわち避難行動においては誘導員による個体間での情報伝達が結果に大きな影響を与えることが分かる。

3.3 誘導員の役割

非常口以外の全てのノードで火災を発生させ、犠牲者の多い危険な通路を調べた。図14(a)に横浜ポルタ地下街をモデル化した空間で実験を行った場合の危険な

図15 誘導員の割合と経路を知っている個体の割合と犠牲者数の関係

通路を示す。この危険な通路の近くに誘導員を数人ずつ配置し、犠牲者数や避難完了時間がどれだけ減少するか検討する。図14(b)に誘導員を配置する箇所を示す。ここで避難完了時間は、避難の途中で個体が死亡する場合でも最後の個体が無事に非常口に到達した時間とした。比較のため誘導員を配置しない場合、誘導員をランダムに配置した場合、誘導員を危険な通路に配置した場合について実験を行う。

表4に実験結果を示す。これによると犠牲者の多い通路の近くに誘導員を配置することで犠牲者数、避難完了時間を効果的に減らすことができることが分かる。

さらに図15に誘導員の割合と経路を知っている個体の割合と、犠牲者の関係を示す。実験では池袋ショッピングパークをモデル化した空間モデルを用い、火災発生場所は図12の火災発生場所と同じ箇所とした。火災は同じ場所で10回繰り返し発生させ、犠牲者数はその平均値とした。

これによると誘導員の割合が多い程、犠牲者が減少している。これは誘導員が多い程、避難誘導が効果的に行われることが分かる。

4 まとめ

避難行動に関する研究は従来より数多く研究されている。しかし、実際にはさまざまな種類の避難者が存在することや、避難者の心理状態が避難行動に大きな影響を与える。これらを考慮した研究はまだ十分に行われていない。提案モデルでは、高齢者や誘導員などの役割の異なる避難者を人工生命個体として、また危険意識などの心理状態をファジィ推論で扱うことにより、個体の群行動を用いた新しい避難行動モデルの提

案を行った。計算機実験により以下のことが分かった。心理状態を考慮した簡単な行動規則に従う個体が局所的に相互作用することで、群行動が見られた。これを避難行動に適用することで、より複雑な避難行動をシミュレートすることが出来るようになった。また各地下街には危険な通路があり、この通路の近くに誘導員を配置することで、犠牲者数や避難完了時間を効果的に減らせることが分かった。

今後の課題としては、火災や空間モデルをより現実に近いものにし、個体に介助行動などを扱えるようにする等の改良を行う予定である。

参 考 文 献

- [1] 建設省監修：新・建築防災計画指針1985年版，日本建築センター，1985.
- [2] 吉田克之：新建築学体系 12 建築安全論 5.2.4 避難行動の予測，彰国社，1983.
- [3] T. M. Kisko and R. L. Francis: "EVACNET+ : A Computer Program to Determine Optimal Building Evacuation Plans," Fire Safety Journal, Vol. 9, pp.211-220, 1985.
- [4] T. J. O'leary and J. M. Gratz: "An Analysis of Fire Evacuation Procedures Using Simulation," Fire Journal, May, 1982.
- [5] B. M. Levin: "EXITT - Simulation Model of Occupant Decisions and Actions in Residential Fires," National Institute of Standards and Technology, Technical Reference Guide for HAZARD I Fire Hazard Assessment Method, pp.C-1-C-15, June, 1989.
- [6] R. F. Fahy: "EXIT89 : An Evacuation Model for High-Rise Buildings," Fire Safty Science-Proceedings of the Third International Symposium, Elsevier Applied Science, London & New York, pp.815-823, 1991.
- [7] D. M. Alvord: "The Escape and Rescue Model:A Simulation Model for the Emergency Evacuation of Board and Care Homes," prepared for National Bureau of Standards, Washington D. C., NBS-GCR-83-453, 1983.
- [8] 平松敏祐，大岩勇夫：“災害弱者施設の避難シミュレーションとその可視化,”火災, Vol.43, No.1, pp.13-20, 1993.
- [9] 竹元朝人，室崎益輝，大西一嘉：“援助型避難シミュレーションに関する研究,”日本建築学会近畿支部研究報告集，第27号，pp.349-352, 1987.
- [10] 田村信介，堀端康善，角忠夫：“ビル火災時の避難誘導シミュレータの試作(理論に基づく群衆挙動解析と圧縮性混合流体モデルによる煙流動解析),”電気学会論文誌C, Vol.103, No.3, pp.15-22, 1983.
- [11] 仙石正和，田村裕，篠田庄司：“グラフ・ネットワーク理論とその応用の今後,”電子情報通信学会技術研究報告, Vol.98, No.515, pp.33-381, 1999.
- [12] 逆瀬川浩孝：“待ち行列理論の最近の応用待ち行列のアラカルト人の流れの解析,”オペレーションズリサーチ, Vol.43, No.5, pp.285-286, 1998.
- [13] 瀧本浩一，三浦房紀，清野純史：“防災要員と避難者の間の情報の伝達を考慮に入れた避難行動シミュレーション,”土木学会論文集, No.537, pp.257-266, 1996.
- [14] F. I. Stahl: "BFIRES-II A Behaviour Based Computer Simulation of Emergency Egress During Fires," Fire Technology, Vol.18, pp.49-65, 1982.
- [15] 横山秀史，目黒公郎，片山恒雄：“人間行動シミュレーションによる地下街の安全性評価に関する研究,”地域安全学会論文報告集, No.3, pp.161-164, 1993.
- [16] 位寄和久：“避難行動モデルに関する研究—火災状況の認識と心理状態を考慮したモデルの提案—,”日本建築学会論文報告集, No.325, pp.125-132, 1983.
- [17] C. G. Langton: Artificial Life, Addison Wesley, 1989.
- [18] ジャリ ワーリオ，溝口純一，下原勝憲：“創発と進化,”シミュレーション, Vol.13, No.4, pp.302-310, 1994.
- [19] 下原勝憲：“ロボット集団における生物的コミュニケーションと協調動作,”日本ロボット学会誌, Vol.12, No.6, pp.808-812, 1994.
- [20] 上田完次：“人工生命研究の展開,”システム/制御/情報, Vol.40, No.8, pp.329-336, 1996.
- [21] 横井浩史，石田崇：“集団行動の創発とファジィ理論,”日本ファジィ学会誌, Vol.10, No.4, pp.637-645, 1998.
- [22] Hideki Kagawa, Makoto Kinouchi and Masafumi Hagiwara: "Image Segmentation by Artificial Life Approach using Autonomous Agents," Proceedings of IEEE International Joint Conference on Neural Networks, No. 2029, Washington D. C., 1999.
- [23] 香川秀樹，木ノ内誠，萩原将文：“人工生命的手法による画像の領域分割,”日本ファジィ学会誌, Vol. 12, No.1, pp.176-184, 2000.
- [24] 二木宏明：脳と心理学—適応行動の生理心理学，朝倉書店，1984.
- [25] 安倍北夫：応用心理学講座3—自然災害の行動心理学，福村出版，1988.
- [26] 八田武志：脳と行動のしくみ，医歯薬出版株式会社，1990.
- [27] 室崎益輝：建築防災・安全，鹿島出版会，1993.
- [28] 日本建築学会：安全計画 I 安全計画の視点，彰国社，1981.

(2001年2月13日 受付)

(2001年10月9日 採録)

[連絡先]

〒223-8522 横浜市港北区日吉3-14-1

慶應義塾大学理工学部情報工学科

萩原 将文

TEL: 045-566-1762

E-mail: hagiwara@soft.ics.keio.ac.jp

著者紹介

かがわ ひでき
香川 秀樹 [非会員]

平11年 慶大・理工・電気卒。平成13年
同大学院修士課程修了。現在、東京電力
株式会社勤務。在学中、人工生命の研究
に従事。

はぎわら まさふみ
萩原 将文 [正会員]

昭57年 慶大・理工・電気卒。昭62年 同
大大学院博士課程了。工博。同年 同大助
手。現在、同大助教授。ニューラルネッ
トワーク、ファジィ、遺伝的アルゴリズム
の研究に従事。昭60年度 丹羽記念賞、
昭61年度 本会篠原記念学術奨励賞、平1
年度 IEEE Consumer Electronics Soci-
ety 論文賞、平6年 安藤記念学術奨励
賞、平8年 日本ファジィ学会著述賞受
賞。IEEE, INNS 各会員。

A Study on Evacuation Behavior by Artificial Life Approach and Fuzzy Inference

by

Hideki KAGAWA and Masafumi HAGIWARA

Abstract :

The purpose of this study is to develop a new evacuation simulation model by artificial life approach and fuzzy inference. This model regards evacuees as agents of artificial life which are given some simple rules, and deals with agents' psychology such as an awareness of danger by fuzzy inference. There are three types of agents: ordinary people, guides and old people. Only guides can communicate the information of escape routes initially. However, agents whose values of awareness of danger become high to a certain degree can communicate the information of escape routes from other agents which know escape routes. These simple rules make agents behave the group behavior such as the detouring route. The proposed model uses this group behavior as the evacuation behavior. The proposed model has the following features: (1) it can handle more precise and more complex evacuation behavior than previous studies by means of the interaction of agents which is information transmission and psychology between agents; (2) it can get some knowledge about evacuation behavior.

keywords : Artificial Life, Fuzzy Inference, Evacuation Behavior, Group Behavior

Contact Address : **Masafumi HAGIWARA**

Keio University

3-14-1 Hiyoshi, Kouhoku-ku, Yokohama 223-8522

TEL : 045(566)1762

E-mail : hagiwara@soft.ics.keio.ac.jp