

ファジィを利用したマルチエージェントシミュレーション

○江田 敏男*¹

キーワード：ファジィ マルチエージェント 避難 群衆

1. シミュレーションモデル

避難シミュレーションには、これまでに様々なモデルが提案されている。分類のひとつに、「流体モデル」と「個体モデル」がある。

「流体モデル」の弱点は、人が量で扱われるので「3.6人」というような不自然な人数が現れたりする事。道路には幅があり、曲がっていれば、外側と内側で距離が変わるはずなのに、同時に到着する事。幅の狭いドアをみんなが同時に抜けようとして、詰まってしまった事例はあるが、計算では起こらない事など、量で扱うことで無視される要因であっても、影響が大きいと思われる場合が多い事である。

しかし、この手法は全体的に見れば、「理想的に行動した場合の最善の数値」を求められるので、数値による保証が容易な事から、「最も良い条件の下でも失敗してしまうような、劣悪な計画を排除する」という判断基準策定には有効な手法である。

一方「個体モデル」はマルチエージェントモデルに代表されるように、人を人としてモデル化する手法であり、流体では見落とされがちな、出口やコーナーでの「渋滞状況」、各人の「速度低下」や「取り残され」を細かく観察することが可能となる。

起こり得る事象を現実に近いCG等で見ることで、より直感的に計画の問題点を探るような要求に対しては、このタイプのモデルが必要になる。

この個体モデルによる避難計算には、行動を制御する手法として、以前から「人は磁力のように反発しあう」、「歩行速度は摩擦係数と目的意識と反発係数で決定される」、「密度は歩行速度を制限する」「坂を転がる」、「最短経路を通る」や「ネットワークの利用」¹⁾、「メッシュの利用」²⁾など様々なモデルや手法が数多く提案されている。

これらの中には、計算機の能力を補う方法として、やむを得ず「密度」と「歩行速度」の関係の様に、結果として表れる数値を原因として代入しているモデルもある。注意して使わないと、結果が予定されてしまい、シミュレーションの意味が無くなる恐れもある。

この個体モデルの欠点は、想定や定義が多種多様に広がり、同じ事象を説明していても、結果に大きな差異が生まれるので、境界線を引いて「善し悪し」を決めることが難しい点である。また、計算負荷が大きく、実用に至らない場合も多い。

2. ファジィの利点

広域避難の分野では、避難行動は物理的要因以外の「判断」「感情」「誘導」などの知的要素が大きな要因となり、全体の動きに大きな影響を与えている。

2011年3月11日の「東日本大震災」を機に避難に対する関心が高まっている中、シミュレーションの精度を上げる手法としてファジィの利用は有効な手段のひとつと考えられる。それは、ファジィの曖昧な定義が「人間的」であり、直感的に答えられる「質問」と「回答」をそのままプログラムに取り入れられるという点にある。

例えば、「あなたは目の前に火災が迫ってきた時、何メートルで逃げますか?」「何メートルまでなら逃げませんか?」という問いに「30mなら逃げる」「100mならまだ逃げない」と答える事は普通の人にとってそれほど難しくはない。正しいかどうか以前に、質問がわかるかどうか重要な問題になる。

「人は1700kcal/m² h以上の輻射熱を受けた時に逃げるように組まれている」という説明で何%の人が同意あるいは意見を言えるのかと考えると、ファジィを使った言葉の活用は、専門家と一般の人、あるいは他分野の人との間にある溝を埋めるのに、都合のよい仕組みと言える。

人同士のきれいな衝突の回避は意外に難しい。エージェントの知能の低さが大きな要因だが、今のところ、これを解決できるほどの計算機はなく、次善策として、似たような動きをする簡単な規則を考える事になる。

衝突回避で困るのは、お互いに同じ場所を取り合って、まったく動かなくなる「手詰まり」や、行ったり来たりを繰り返す「百日手」を起こす事である。

これは、人対人など、同じもの同士は同じプログラムで動くので、双子の様に同じ行動を取る事による。

プログラムのな解決策として、幾つかのパラメータに「ばらつき」を持たせたり、「優先順位」を与えたりして、局面の打開を図るが、パラメータ設定や、決定方法に正当性を与えるのが難しい。ブラックボックスになりやすい部分である。

ファジィは反発する磁石のような滑らかさを持たせやすく、その動きを制御しやすい特徴を持っているため、その特徴を生かして、「閉塞」の確率を下げる効果も期待できる。

3. ファジィの原理

制御パラメータとして「距離」と「角度」の2つの要素を考える。このふたつの要素は、意識の中でも具体性があり、影響も単純であることから選んでいる。

相手を避けようとするベクトルは相手に向かって反対方向ではなく、自分の進む向きに対して90度、かつ相手と反対側に設定する。このベクトルの向きそのものもファジィで導くことは可能である。

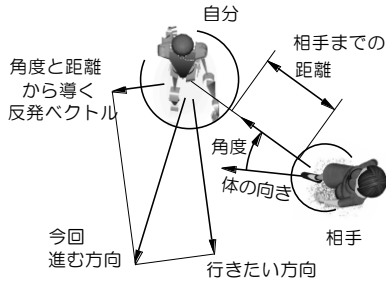


図1 衝突回避モデル

衝突回避のためのメンバーシップ関数を「相手までの距離」と「相手から見える自分の角度」から作成した。

図1のように人を「円」と考え、円の外周から外周までの距離を「相手までの距離」とする。

また、図2で示すように、「近い」と感じ始める距離、完全に「近い」と感じる距離。「遠い」と感じ始める距離、完全に「遠い」と感じる距離を要素とするメンバーシップ関数を考える。図3のように「相手から見える自分の角度」についても同じく、定義する。

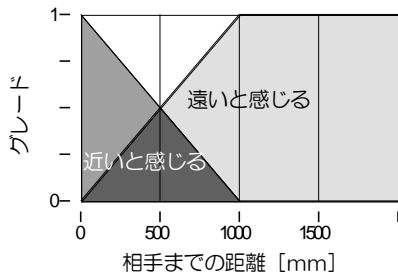


図2 距離のメンバーシップ関数

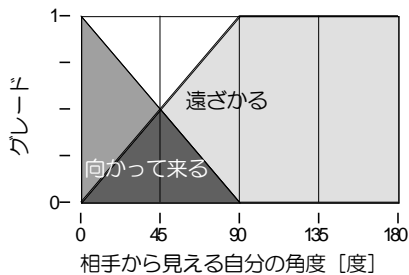


図3 角度のメンバーシップ関数

近くにいる、こちらを向いている相手は強く意識し、遠くにいると感じる場合は、意識をしないように働くとした、表1のような推論規則を設定する。

表1 推論規則

意識程度	相手から見える自分の角度		
	向かって来る	遠ざかる	
人と人の間の距離	近い	1.0	0.5
	遠い	0.0	0.0

この推論規則の中の値は、個人によって変わるので、適当に決める必要がある。

ファジィ推論の計算方法には様々な方法があるが、ここでは、計算の簡単な「代数積—加算—重心法」を用いた。

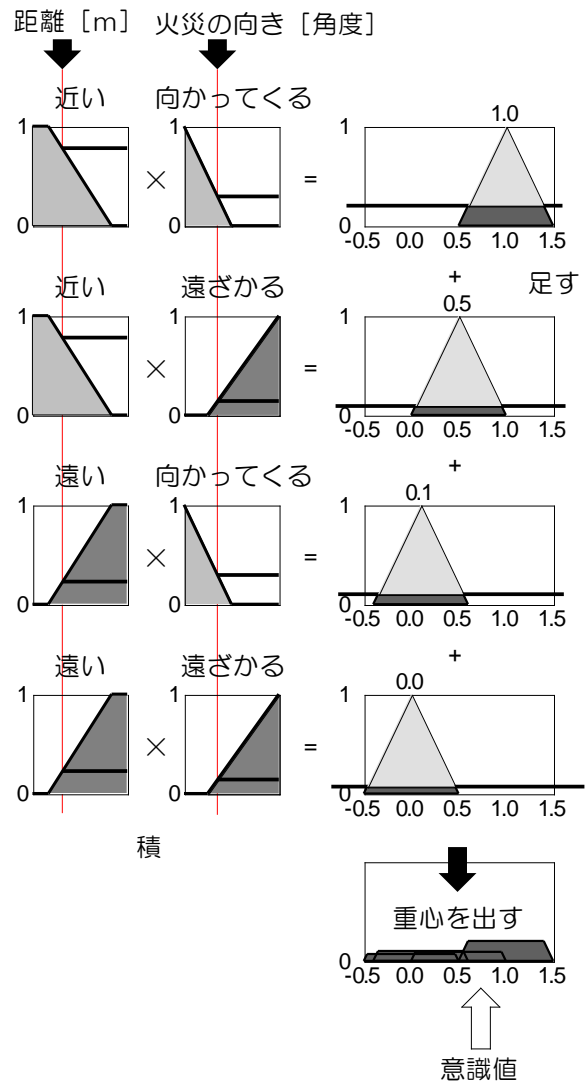


図4 ファジィ推論 代数積—加算—重心法

4. 解析

旧来使われている、「歩行速度」と「群衆密度」の関係(式1)を簡単な実験で確かめてみる。

$$\text{歩行速度} = 1.5 / \text{群衆密度} \quad \dots \text{式1}$$

1.5は群衆流動係数と呼ばれ、観測値は0.9~1.7であるらしいが、避難の場合、1.5が推奨されている。

反発するファジィ値は、周辺にいる相手全員に対して計算をすることができる。この数値をどう扱うかもひとつの大きな問題ではあるが、ここでは、最大の値をひとつ選択して、その値に従うように制御した。

Aさんを気にしていたら、Bさんにぶつかるようなことが起こりうる想定であるので、ある意味人間的な設定である。この種の味付けは研究者により様々で、かつ、細かい為に、表に出る事は無いが、シミュレーションの結果を大きく左右しかねない問題である事は認識すべきである。

ファジィ部分の計算は、すべて同じメンバーシップ関数と推論規則を用いている。歩行速度や体サイズなど、ファジィ以外のパラメータもすべて同じにしてある。実際には個人によって異なる設定をすることが多い。

図5はファジィを組み込んだ集団と組み込んでいない集団との「逆行」状態での速度を比較した図である。「逆行」は左右から入る人を徐々に増やして、その時の密度と平均速度を測定してプロットしたものである。

ファジィ集団の方は、衝突前にスムーズに回避しているので、速度に差が出た。どちらが現実に近いかは何とも言えない。それぞれがモデルの個性であり特質なので、現実社会の個人の特性と同じと考えるしかない。このように、モデルによる違いは無視できない事がわかる。

しかし、逆行する人の集団では密度との対応が大きく異なる点で一致する。

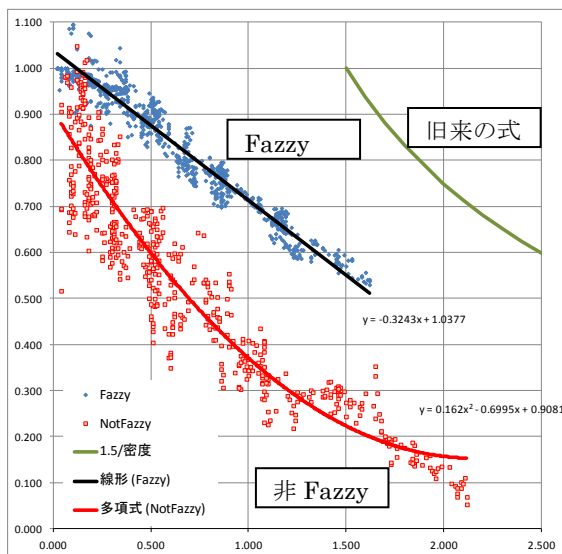


図5 逆行状態での群衆密度と歩行速度

図6はそれぞれの比較である。同じ方向を目指す集団(以下「順行」)では約4.0人/㎡程度までは群衆歩行が可能と言われているが、このモデルでは、どんなに人を送り込んでも、2.5人/㎡以上の密度にはならなかった。密度2.0人/㎡前後で式1と一致するが、1.6人/㎡以下、2.5人/㎡以上で大きく食い違う。

「逆行」は約1.5[人/㎡]で衝突の壁が出来た。

「交差」は十字路の内部である。ほとんど動けないので、密度はどんどん上がって、4.5[人/㎡]まで上がった。この「交差」は「逆行」とほぼ同じ分布を示している。

これはあくまで、このモデルの結果であって、実際の間人集団との相関は定かではないが、伝統的な式1の歩行速度がこのモデルより速いという事は、人がもうすこしだけ頭が良いという事を表しているのかもしれない。

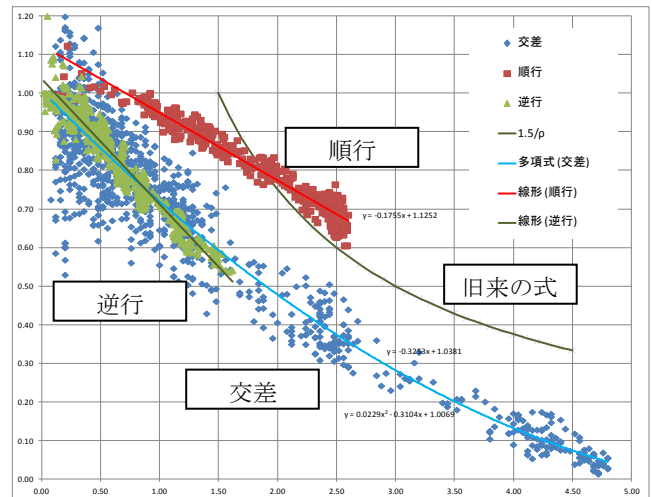


図6 群衆密度と歩行速度

5. ビジュアル化

マルチエージェントは当たり前であるがビジュアル化しやすい。結果を直感的にとらえられるので、説得力がある。騙されないように注意が必要である。

図7はファジィ理論適用の有無にかかわらず、うまく回避できないパターンである。幅5mの道路の両側から0.4人/㎡の密度で反対方向へ抜けようとしている。個人個人が勝手に回避しようとしても、回避しきれずに、次第に、小競り合いが大きくなり、壁ができてしまう。「これは、シミュレーションの欠点」と捕らえるのではなく、「これを、起こりうる問題として提起することができる」と考えると、この種のシミュレーションの利点が見えてくる。

前述の図6では、逆行1.5人/㎡でデータが切れているが、この現象である事を説明や解説する事は難しい。

ファジィを使った場合では、かなりうまく避けていくので、なかなか壁が出来なかった。10分以上掛かる事もあり、たまたま運悪く、すぐに来てしまうという状況もあった。その時の密度は1.4人/㎡前後であった。

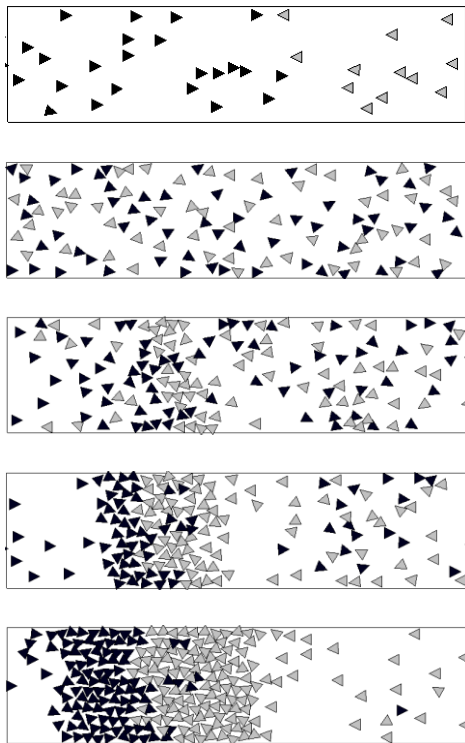


図7 壁の出来るケース

6. ファジィの有効性

20秒後に通路中央にいる集団が小競り合いを起こして、塊を作っているが、ファジィ適用では一様に分布し、スムーズに流れているのが分かる。

60秒後にはほとんど出口渋滞に到達しているが、非ファジィでは、通路での小競り合いが残っている。

出口到達後は、両者同じくらいの速さで脱出しているから、ファジィの有効性は、密集する前に大きい。

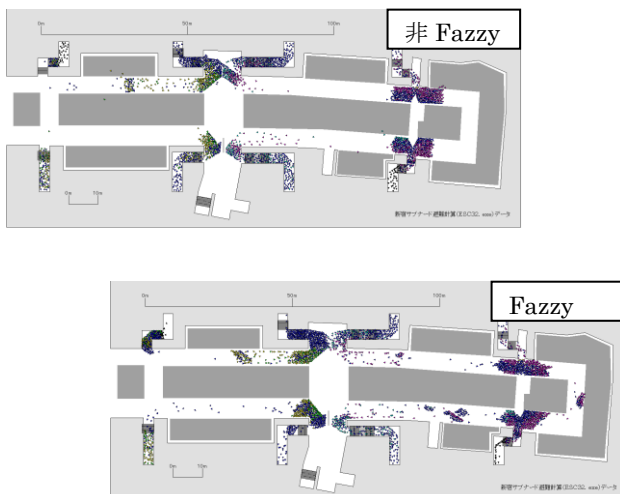


図8 20秒後の地下街

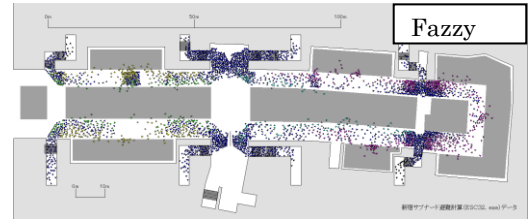
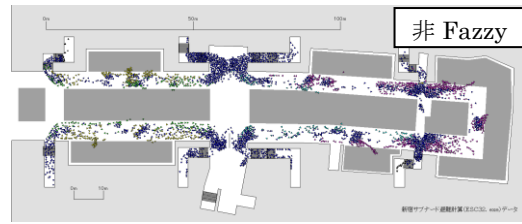


図9 60秒後の地下街

7. おわりに

工学者から見たファジィの利点として、「数式ではわかりにくい設定条件を、わかり易く表現出来る」、「複雑な関数を考えなくとも、それらしい計算ができる」ことが挙げられる。

簡単なパラメータの変更で、行動パターンをダイナミックに変更できる点は、建築家と精神分析医といった、領域を超えて問題を処理しなくてはならない場合に、共通のコンセンサスが得られ易いという特徴が生かせるであろう。

今回は避難シミュレーションで、ファジィ理論の利用の可能性を検討したが、これ以外の防災の分野でのファジィ理論の利用の可能性も十分に考えられる。

例えば、火災の拡大は自然現象であるが、実際には人による消防活動が関与して、その挙動に大きな影響を与えている。このような、人の関与する事象の解析にファジィ理論の利用の可能性は十分にある。

[参考文献]

- 1) 梶秀樹：広域避難計画における地区別避難危険度の算定、日本都市計画学会、学術発表会論文集、Vo. 17、pp. 559-564、1982
- 2) 松本博文、森脇哲男、江田敏男：大震災時の避難シミュレーション、日本建築学会論文報告集、341号、pp. 142-149、1984
- 3) 青木義次：伝聞判断情報モデル-地震時避難行動の情報伝達作用モデルの研究 その2-、日本建築学会第13回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集、pp. 205-210、1990
- 4) 水本雅晴：ファジィ理論とその応用、サイエンス社、1988
- 5) 浜田稔：火災の延焼速度について、火災の研究、第1巻、相模書房、1951
- 6) 新版 建築防火教材、第10章 p116、日本火災学会、1980
- 7) 堀内三郎：建築防火論、p157、朝倉書店

*1 (株)建築ピボット 開発 工修