

京都大学大学院 学生員 ○ 総谷剛志

京都大学大学院 正員 堀 智晴・椎葉充晴

1. **序論** 洪水災害の被害軽減のために行われているハード面の対策には、治水設備を上回る洪水災害の発生時を想定すると限界があり、避難行動を円滑に行うための避難経路の決定や、避難勧告等の災害情報の伝達、洪水災害の危険性に対する啓蒙活動といったソフト面での対策は重要である。このような認識から高棹ら[1,2]は、アンケートより得られた住民の避難情報に対する反応や、避難経路と避難場所の知識を、直接反映できる水害避難マイクロモデルを提案した。

一方、1999年6月の梅雨前線の影響による福岡市博多駅周辺の冠水で、女性一名が水死する惨事は、新たな「都市型自然災害」として衝撃を与えた。貴重な都市空間として、有効活用が進められている地下空間においても、災害の発生を予測して円滑な避難行動を促し、人的な被害を避けるというソフト面での対策が重要になってくる。

ところで、水害避難マイクロモデルは、特定のワークステーション上でのLisp環境で設計されており、近年の急速な情報技術の進歩に伴うPC普及を考えると、汎用性があるとはいいがたい。また、処理速度も人口が密集する地下空間での避難行動を再現するには、十分とはいえない。そこで、本研究では次の点について考察する。

- ・ 汎用性の確保と処理能力向上を目的として、PC上でのC++環境で水害マイクロモデルの再構築を行う。
- ・ 再構築した水害避難マイクロモデルの意思決定過程をもとにして、地下空間への拡張モデルを開発する。
- ・ 洪水流入を想定した浸水位のシナリオを用いて、簡略化した地下空間での水害避難行動を再現する。

2. **水害避難マイクロモデルの再構築** 水害避難マイクロモデルで使われている基本的手法として、オブジェクト指向、プロダクションシステム、ファジィ推論[3]がある。プロダクションシステムは、人間の問題解決過程と非常に似ており、人間行動のモデル化に、ファジィ推論は、曖昧さを表現できるファジィ集合を用いて推論を行うため、避難者の行う曖昧な情報処理のモデル化に適している。以上の手法を用いて、PC上でのC++環境での水害避難マイクロモデルを再構築した。

3. **地下空間への拡張モデル** 地上の浸水位や降雨量

を直接入手することができない上に、水害・避難情報が館内放送によってのみ伝達されるため情報不足に陥る傾向と、住宅地とは異なり、避難者は地下空間の地理に精通していないことが特徴として挙げられる。

以上の特徴を考慮した上で、水害避難マイクロモデルでの情報入手を取り扱う過程を取り除いた意思決定過程を用いて、地下空間への拡張モデルを開発した。地下空間の避難者は、不特定多数のため水害経験の影響によるパラメータに偏りはなく、浸水が始まる前には、避難者全員が水害の危険性を認識していないものとした。避難決意は危険認識度に依存し、避難指示や避難勧誘がある場合は、必ず避難を決意するものとする。京都市河原町御池地区に位置する「ゼスト御池」を簡略化したものを対象とし、移動速度を浸水位によって0.5m/s(浸水位0.5m未満)、0.3m/s(浸水位0.5m以上、1.4m未満)と与える。

4. **適用と考察** 対象地下空間の北東に位置する出口からのみ洪水が流入するとして、地下空間での氾濫シミュレーション[4]を参考に浸水位のシナリオを作成した。水平に広がる進行速度を座標上で、X・Y方向(西・南方向)へ0.83m/s、浸水位の上限は1.5m、浸水位の上昇速度は、0.417cm/sとし、3つのシミュレーションを行う。シミュレーション1では、避難経路として、避難者の位置から最も近い出口への直線を選択して、避難が行われるものとする。シミュレーション2では、単に浸水が近づく方向から逃げる方向に避難経路を選択し、直線的に移動した後、出口から半径10m以内に位置すると、その出口を避難場所と認識し、避難経路を再設定するものとした。シミュレーション3では、避難決意後の避難者が、周囲10m以内の待機中の避難者に意思決定を促し、移動している避難者と同じ避難場所を選択させるというルールをシミュレーション1の条件に付け加える。館内放送による水害・気象・避難情報は、入手されないとして、ランダムに100人の避難者を配置し、単位時間ステップを6秒として、180ステップの計算を行う。

図1,2,3は、避難終了者数と移動中の避難者数の推移を示している。縦軸は、経過時間ごとの避難終了者数と移動中の避難者数を、横軸は経過時間を表す。表1,2は、そ

Tsuyoshi KASETANI, Tomoharu HORI, Michiharu SHIIBA

れぞれ出口別の避難終了者数、平均移動時間を示す。

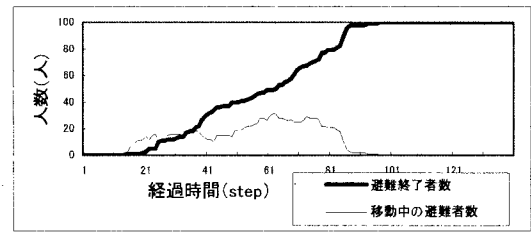


図 1：シミュレーション 1 の避難終了者数と移動中の避難者数

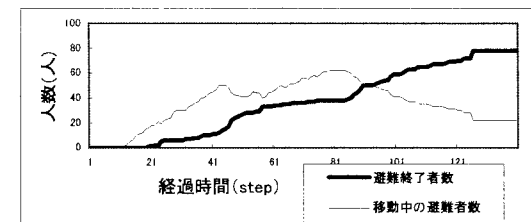


図 2：シミュレーション 2 の避難終了者数と移動中の避難者数

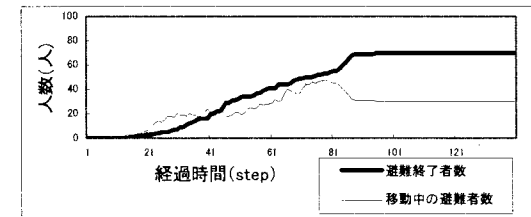


図 3：シミュレーション 3 の避難終了者数と移動中の避難者数

図 1 を見ると、最終的には避難者全員が避難を終了している。図 2 を見ると、最終的には、避難終了者数が 78 人であり、22 人が移動不可能になり、洪水終了を迎えている。シミュレーション 1, 3 に比べると、避難終了が全体的に遅くなっているが、これは、浸水から逃げる方向に避難経路を選択し、最短避難経路とは異なる避難経路を選択する避難者が多くなり、移動時間が増えたためである。その結果、移動不可能となる避難者が発生し、最終的な避難終了者数も減少したと考えられ、避難者が、最短避難経路を選択できず、ただ、浸水の迫る方向から逃げるように避難を行い、移動に時間がかかってしまう現象が再現されている。表 1 を見ると、出口 4 と出口 6 の避難終了者数が多い。これは、浸水から逃げる方向である南西方向に避難者の多くが避難経路をとり、地下空間の南西に位置する出口 4 や出口 6 を認識し、避難したためである。避難者が地下空間内を特定の避難目標も持たずに長時間逃げ惑い、偶然発見した出口に避難するような場合、全体としての効率は悪くなることがわかる。

図 3 を見ると、最終的な避難終了者数が 70 人と最も少

ない。移動不可能となった 30 人を調べると、自主避難ではなく、避難勧誘によって避難を開始していることがわかった。自主避難を決意した避難者による避難勧誘のルールを設定することで、避難者が周囲の避難者の避難行動に追従し、その結果、最短でない避難経路を選択し、移動不可能の状態に陥るという現象が発生しうることがわかった。避難勧誘によって避難開始の意思決定を行った 55 人のうち半分以上が移動不可能になっていることから、水害避難中に他人の避難行動に追従して避難経路を選択する危険性が認識された。

表 1：出口別の避難終了者数（人）

	Exit1	Exit2	Exit3	Exit4	Exit5	Exit6
Sim-1	10	9	22	11	31	17
Sim-2	0	6	5	20	7	40
Sim-3	11	9	10	11	16	13

表 2：出口別の平均移動時間（step）

	Exit1	Exit2	Exit3	Exit4	Exit5	Exit6
Sim-1	10.7	12.8	15.4	16.5	16.2	14.4
Sim-2	—	7.5	13.8	28.8	18.4	44.8
Sim-3	16	14.7	15.5	14.2	16.4	13.4

5. 結論 本研究では、PC 上の C++ 環境において、ファジィ推論システムを開発し、水害避難マイクロモデルの意思決定過程を再構築することで、モデルの処理能力向上と汎用性の確保を実現し、地下空間への拡張モデルを開発した。簡略化した地下空間を対象として、シナリオを用いたシミュレーションを行い、最適な経路選択による避難行動、浸水から逃げる心理を考慮した避難行動と、周囲の避難者の避難勧誘による追従を考慮した避難行動を再現することができた。

参考文献

[1] Takasao, T・M. Shiiba・T. Hori: Micro Model Simulation and Control of Flood Refuge Actions, Applications of Artificial Intelligence in Engineering IV, Elsevier, pp. 1049-1065, 1992.
[2] 安延直宏：水害避難行動モデルの同定とそのシステム化に関する研究, 京都大学修士論文, 1994.
[3] 菅野道夫：ファジィ制御, 日刊工業新聞社, 1988.
[4] 戸田圭一・井上和也・前田修・谷野知伸：大都市の地下空間の氾濫浸水解析, 土木学会水工学論文集, 第 43 巻, pp539-544, 1999.