

住民意識の変化過程を考慮した水害避難行動モデルの設計

Flood Refuge Action Model Considering Changing Process of Inhabitant's Consciousness

高埴琢馬*・椎葉充晴**・堀 智晴***

By Takuma TAKASAO, Michiharu SHIIBA and Tomoharu HORI

A computer model is developed which can simulate the changing process of inhabitant's consciousness on flood disaster due to flood experience and time passage. In order to express the consciousness which influences refuge actions, two parameters are introduced: "outlook on flood disasters" which express usual consciousness on flood damage, and "information dependency" which express the effect of information on individual actions. The process in which these parameters are changed by flood experience and time passage are expressed by fuzzy inference rules. The model is installed in Flavor system of Common Lisp as an object-oriented model and is applied to the refuge simulation in Nagasaki City.

keywords: refuge, consciousness on flood disaster, artificial intelligence, fuzzy theory, object-oriented

1. 緒言

水害時の避難行動は、洪水災害軽減のためのソフトな対策として重要視され、水害や避難行動に対する意識の調査が行われる一方¹⁾²⁾³⁾、避難行動に影響を及ぼす浸水位と避難行動の関係を分析するシミュレーションモデルの開発が行われている⁴⁾⁵⁾。ところで、現実的な水害避難行動シミュレーションを行うためには、現地調査の結果明らかとなった住民の水害に対する意識、避難場所や避難経路に関する知識、避難情報に対する反応の仕方を、シミュレーションに直接反映できるモデルが必要である。もちろん、水害に対する意識や避難に関する知識、避難勧告等を受けた場合の行動は個々の住民の被災経験や生活形態によって大きく異なっているから、実状に即した避難行動シミュレーションには、水害時の個人レベルでの行動モデルが必要になってくる。筆者らは、以上の観点から、水害避難に関する現地調査の結果を計算機上での避難シミュレーションに反映すべく、世帯レベルの避難行動を心理的側面を含めてシミュレーションできる水害避難ミクロモデルの開発を進めてきた⁶⁾。

しかし、避難計画立案や避難行動の制御方法について考察するためには、水害を経験することあるいは長期間経験しないことによる水害意識の変化や、水害を経験した際に提供された情報の適・不適によって変化する住民の情報に対する態度が避難行動に影響を与えるプロセスをモデル化する必要がある。そこで、本研

* 正会員 工博 京都大学教授 工学部土木工学科 (〒606-01 京都市左京区吉田本町)

** 正会員 工博 京都大学助教授 工学部土木工学科 (〒606-01 京都市左京区吉田本町)

*** 正会員 工修 京都大学助手 工学部土木工学科 (〒606-01 京都市左京区吉田本町)

究では、水害経験や時間の経過にともなう水害意識の変化を考慮にいたれた水害時避難行動シミュレーションモデルを開発する。具体的には、水害経験によって影響を受ける住民意識を表す指標として、水害危険観と情報依存度を定義し、これら指標が水害を経験すること、あるいは、時間が経過することによって変化する過程をモデル化し、意識変化が避難行動のに及ぼす影響をシミュレーションすることを試みる。

2. 水害避難行動のマイクロモデルについて

筆者らは、既に、1洪水に対する水害避難行動に着目し、現地調査の結果明らかとなった住民個々の水害に対する意識、避難場所や避難経路に関する知識、避難情報に対する反応の仕方を、計算機上でのシミュレーションに直接反映できるモデルとして水害避難マイクロモデルを開発した⁶⁾。水害避難マイクロモデルは、住民の避難行動を規定する要因を、水害経験や意識・生活形態など水害時避難行動に対する初期条件となる要因、水害時に提供される情報や降雨状況や浸水状況といった外的要因、水害時に、提供される情報に対する反応の仕方を表す内的要因の3つに分類し、これら要因の相互関係をプロダクショナルルールとファジィ推論ルールを用いて記述したものである。特に、水害意識については、「危険視型」・「安全視型」など5種類の型を設定し、意識の型に応じて水害時の行動と住民が受け取る各種情報との関係を知識ベース化した。また、洪水時の住民の危険性に対する認識を表す指標として危険認識度を定義し、危険認識度の大小と避難命令等の「きっかけ情報」との相互作用で住民は避難を決意するというモデルを考えることにより、自主避難や避難情報を受け取っても避難しないケースを再現することができた。

3. 水害意識の変化過程とそのモデル化

2. で述べた水害避難マイクロモデルでは、住民の水害経験や危険に対する一般的態度をすべて5種類の水害意識の型を通じて表現していた。しかし、水害意識の水害経験による変化や経時変化を考える上では、離散的な意識の型を用いるだけではなく、より詳細に水害意識そのものを構成する要素を考えなければならない。そこで、本研究では、水害経験によって醸成されるとともに、時間経過によって変化し、次の水害時の行動に影響を与える因子として、「個々の住民が日常的に水害をどの程度危険なものと感じているか」と、「避難勧告や命令等の情報に判断をどの程度依存するか」の2つを取り上げることにする。なお、本研究で行う水害意識の変化過程モデルの概要を図-1に示しておく。

3. 1 水害危険観の導入

住民が普段から持っている水害意識には、水害の危険性に対する一般的な評価があり、この危険性の評価が高いほど住民は水害時に避難しやすい傾向がある。1洪水を対象とした水害避難マイクロモデルでは、2. で述べたように、この危険性の評価を水害意識の型を用いて表し、水害避難行動の初期条件としていた。しかし、数種類の型で水害意識を表現する方法では、経験や時間の経過によって水害意識が変化する様子を不連続にしか表現できないなど不自然な点が生じる。

そこで、本研究では水害の危険性に対する評価を0から1の数値で表し、これを水害危険観と呼ぶことにする（ただし、1に近いほど水害を危険と考えている度合いが大きいものとする）。個々の住民は、一つの水害で受けた被害の程度によって、水害危険観の値を変化させ、それが

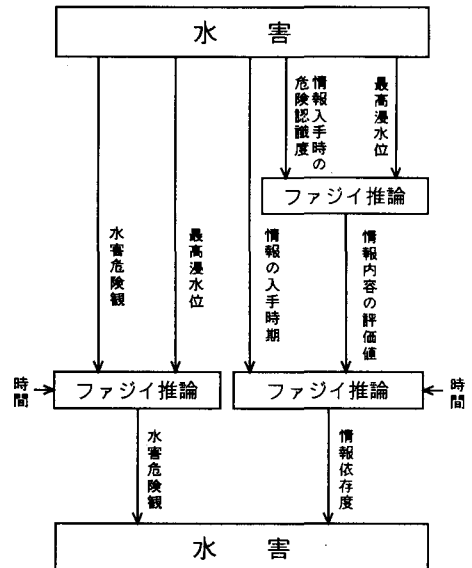


図-1 水害意識の変化過程

次回の水害時の初期条件となる。なお、水害危険観に影響を及ぼす外的要因としては、現地調査報告で避難行動や被害軽減活動の有無と浸水状況との関連が指摘されている⁷⁾ことを考慮し、個々の住居の最高浸水位を用いることにする。したがって、水害を経験することによる水害危険観の変化は、前件部がもとの水害危険観 v_0 と最高浸水位 l_{max} 、後件部が水害危険観の変化量 Δv からなるファジイ推論ルール、

$$\text{IF } v_0 \text{ is } A_i \text{ and } l_{max} \text{ is } B_j \text{ THEN } \Delta v \text{ is } C_k \quad (1)$$

で記述することができる。ただし、 $A_i (i=1\sim 4)$ 、 $B_j (j=1\sim 3)$ 、 $C_k (k=1\sim 5)$ は、それぞれ、 v_0 、 l_{max} 、 Δv のファジイ分割である。

3. 2 水害情報の評価モデル

住民は様々な情報や浸水の様子などから、現在自分がどの程度危険な状況におかれているかを判断して、次の行動を決定する。このとき、状況の判断をどの程度外部から与えられる情報に依存するかは人によって異なる。例えば、避難命令を受け取ったときに、危険な状況におかれていると判断してすぐに避難する人もいれば、たいして危険はないと考えて対応行動をとらない人もいる。この反応の違いは、人による性格の違いもあるが、過去の水害時における経験の違いが大きく影響している。すなわち、過去の水害時に提供された情報の適・不適によって、住民行動が避難情報によって規定される度合いが異なってくる。この点については、2. で述べた水害避難マイクロモデルでは取り扱っておらず、情報の影響力が過去の経験に関係なく一定であったため、水害経験により住民の情報の解釈の仕方が変化する過程のシミュレーションができなかった。しかし、避難命令などの情報によって避難行動を制御する方法を探るためには、現地調査から指摘されている警報慣れなどの現象を再現できるほうが望ましい。

そこで、本研究では、各住民が自分の経験から行動を決定する時に水害情報にどの程度依存するかという度合を1を中心とする数値で表し、情報依存度と呼ぶことにする。ただし、情報依存度の値が大きいほど、住民は行動の決定を情報に依存する傾向が強くなるものとする。また、情報依存度の変化を規定する要因として、避難情報の内容の適切さと情報が与えられた時期の2種類を取り上げる。

情報内容が適切であったかどうかについては、その情報を提供する側あるいは受け取る側といった立場の違いに応じて様々な尺度が考えられる。ここでは、住民の側からみた情報内容の評価基準を、各住民がその情報を受け取ったときに予想した水害の発生状況と、現実に生じた状況が似ているほど内容が適切であると考えことにする。水害避難マイクロモデルでは、各住民は、洪水時の各時点で外部状況や提供情報をもとに現在どのぐらい危険な状況であるかという評価を、危険認識度の値として持っている。したがって、情報から予想した事態の認識は、情報を入手した直後の危険認識度の値で表せる。また、実際に発生した被害の大きさは、3. 1と同様の理由で水害中の最高浸水位で表すことにする。そして、情報の内容の評価を0～1の数値で表し（情報を過大評価したほど大きい値をとり、過小評価したほど小さい値をとる）、以下のファジイ推論ルールで、情報内容の評価値を決定する。

$$\text{IF } l_{max} \text{ is } L_i \text{ and } d_e \text{ is } D_j \text{ THEN } e \text{ is } E_k \quad (2)$$

ただし、 l_{max} 、 d_e 、 e はそれぞれ自宅の最高浸水位、避難決意時の危険認識度、情報内容の評価値であり、 B_i, D_j, E_k はこれらのファジイ分割である。これにより、情報を受け取ったときの危険認識度が大きかったものの実際の最高浸水位が小さかったケースでは、住民は情報を過大評価したとするようなルールが記述できる。

次に、情報が与えられた時期と情報依存度の関係について考える。一般に情報は早めに与えられる方が良く考えられるが、早すぎると緊張感を持続させるのが困難になったり、情報内容と現況の違いが大きいために住民が情報を過小評価してしまったりする危険がある。そこで、情報の入手時期から情報依存度の変化量を求めるファジイ推論ルールの前件部を、(2)で求められた情報内容の評価値と、情報の入手時期（避難を決意させた情報の入手時刻と自宅が浸水を始めた時刻の差で定義する）の2変数とし、後件部を情報依存度の変化量とする。ルール記述の方針は、通常避難先が1時間以内で到達可能範囲にあることから、浸水開始1

時間前程度余裕のあった場合に最も情報依存度が高くなるものとする。

3. 3 水害意識の経時変化モデル

複数の水害経験のように、一つの経験から次の経験までの期間が長期にわたる事象をシミュレーションするには、時間の経過にともなって意識が変化する過程をモデル化することが不可欠になる。しかし、残念ながら、記憶の長期的変化のメカニズムについては、まだよくわかっていない。そこで、本研究では、時間の経過に伴い、記憶が曖昧になり水害意識が変化する様子を、水害意識の2つの要素である水害危険観と情報依存度を表現するファジイ集合の台を広げることによって表すことにする。

具体的には、経過した年数 t に応じて、水害危険観や情報依存度の変化量を求めるファジイ推論で用いるメンバーシップ関数（三角形及び台形形状を用いている）の斜辺を横軸に投影した長さを $1+t\cdot\alpha$ 倍に広げる（図-2）。この方法によれば、時間の経過に伴って、前件部に当る一つの変数の値が、ファジイ推論の全てのファジイ集合に適合していき、無限の時間が経過すれば全てのファジイ集合の適合度が1になる。したがって、概念的にはあるが、記憶が段々あいまいになる様子が表現できる。

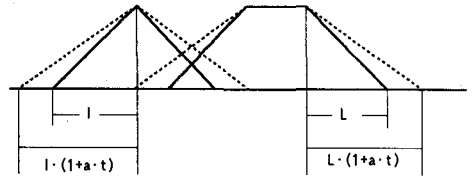


図-2 水害意識の経時変化モデル

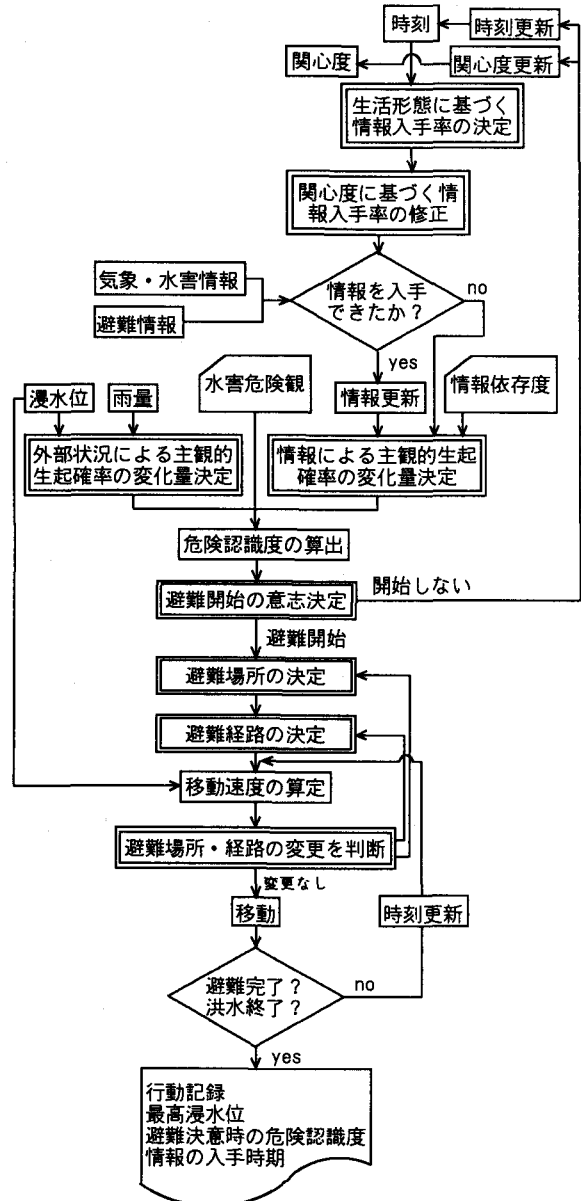


図-3 1 洪水に対する水害避難シミュレーションモデルの構成

4. 水害避難行動を規定する要因とそのモデル化

一つの洪水期間中の避難開始の意志決定過程及び移動過程については、基本的には、2.で述べた水害避難マイクロモデル^{*)}と同様の考え方を採用する。ただし、本モデルでは、水害意識の変化過程をモデル化するため、水害意識の表現を離散的な型から水害危険観という数値パラメータに変更したので、危険認識度の計算方法を変更する必要がある。ここでは、水害危険観の意味を考慮し、心理学の分野でSuttonが従来のSEUモデルを恐怖コミュニケーションに適用した例^{*)}を参考に

し、洪水中の時刻 t の危険認識度 $d(t)$ を以下の式で算出することにする。

$$d(t) = v \cdot p(t) \tag{3}$$

ここで、 $p(t)$ は主観的生起確率で、住民が水害時に水害危険観が表しているような状況が発生すると考えている確率である。 $p(t)$ の値は外部状況や情報の内容に応じて時時刻々変化し、この結果、各住民の危険認識度の値が、各個人が日常持っていた水害危険観の値に応じて変化することになる。

具体的には、まず、前件部が浸水位・前時刻との浸水位差・降雨量から、後件部が主観的生起確率の変化量から成るファジイ推論ルールを用いて、外部状況による主観的生起確率の変化量を求める。その後、受け取った水害情報や避難情報の内容と情報依存度の値および先に求めた主観的生起確率の変化量をもとに、その時刻の最終的变化量を決定する。なお、最終的な行動の決定は、以上の手順で危険認識度を決定した後、危険認識度の大小と直接避難行動に言及するような「きっかけ情報」の有無をもとに行う。以上述べた1 洪水中の水害避難行動シミュレーションモデルの構成を図－3 に、使用している知識システムの概要を表－1 に示す。

表－1 避難行動モデルを構成する知識システムの概要

知識システムの機能	前 件 部	後 件 部	推 論 法
生活形態から情報入手率を決定	時刻	情報の入手率	ファジイ推論
関心度により情報入手率を変更	情報の入手率（上で決定） 関心度	最終的な情報入手率	ファジイ推論
外部状況による主観的生起確率の変化量を決定	雨量 浸水位 1 ステップ前との浸水位差	主観的生起確率の変化量	ファジイ推論
情報による主観的生起確率の変化量決定	情報の評価値	主観的生起確率の変化量	ファジイ推論
行動決定	危険認識度 避難情報 避難勧誘 準備状況	行動 （待機・準備・避難） 関心度の変化	プロダクションシステム

5. 適用例

適用地域として長崎市万屋町付近を取り上げ、1982年7月の洪水を想定して、避難シミュレーションを行う。なお、対象世帯数は50で、シミュレーション対象時刻は、長崎市内で浸水が始まった19時から、浸水位が減少し始めた23時とした。なお、対象地域の氾濫状況は、2次元一層モデル⁹⁾を用いて計算している。避難の「きっかけ情報」として、実績にしたがいいずれのケースも20時30分に避難勧告を、21時50分に避難命令を発令するものとした。また、「きっかけ情報」の内隣人の勧誘については、避難を決意した世帯が20%の確率で隣の世帯に対して避難勧誘を行うものとした。

まず始めに、各世帯の水害危険観を0.5に、情報依存度を1.0に設定して、避難シミュレーションを行った。この場合の避難状況は図－4 の通りである。避難勧告の出された30分後から避難を始める世帯が徐々に現れ始め、避難指示が出された21時50分から避難をする世帯が急増している。最終的には、37世帯が避難場所にたどりつき、8世帯が避難していない。また、避難に失敗した（避難を決意したが移動できなくなってしまった）世帯が3世帯ある。なお、比較的早い時期に避難できなくなってしまった世帯があるが、いずれも河川に最も近い家屋に住む世帯で、避難を決意した時点あるいはその直後に浸水位がかなり高くなってしまったために移動できなくなったものである。

次に、図－4 の避難経験をした直後に（時間経過の効果は考えずに）1 回目とまったく同じ規模の洪水に襲われた場合を想定して行ったシミュレーション結果を図－5 に示す。既に、同規模の洪水を経験しているため、最終的に避難した世帯数が15と1 回目のシミュレーションの場合に比べ減少している。これは、1 回目の洪水の時に避難したにも関わらず、自宅に浸水のなかった世帯が避難情報に従わなかったためである。また、このケースでは、避難指示が出されても1 回目のように避難する世帯が急増するといった結果になっていない。これは、1 回目のシミュレーションの結果情報依存度が低下した世帯が多かったためである。

さらに、2 回目の洪水が1 回目の洪水の10年後に起こったという条件で、図－1 の手順で、水害危険観、情報依存度を更新してシミュレーションを行った結果を図－6 に示す。なお、時間効果を表すパラメータ α

α は0.5とした。このケースでは避難状況が1回目の洪水の時(図-3)に似た状態となっている。これは、1回目の水害直後には、避難の必要がないと考えていた世帯も時間の経過とともに、1回目の経験を忘れ、結局、避難決意に対する避難情報の重みが増したことによる。ただし、ここで用いた α の値は、仮に設定したもので、今後、経過年数とパラメータ値の関係について考えて行かなければならない。

6. 結語

本研究では、水害経験によって形成される水害意識を表す指標として水害危険観および情報依存度を定義し、これらが水害を経験すること或いは一定期間経験しないことによって変化する過程のモデル化を行い、水害意識の変化が避難行動に及ぼす影響のシミュレーションを試みた。今後、本モデルを構成するパラメータの特性と同定法について考察していく予定である。

なお、本研究を進めるに当たり多大な協力を頂いた玉置雅章、安延直弘の両氏に感謝の意を表する。

【参考文献】

- 1) 道上正規：水害時の避難行動に関する研究，鳥取大学工学部研究報告第10巻，pp. 757-780，1979.
- 2) 今本博健，石垣泰輔，大年邦雄：昭和57.7長崎災害における住民の避難影響行動について，京大防災研年報，第26号B-2，pp. 127-138，1982.
- 3) 建設省土木研究所：水害時の避難行動に関する調査報告書 ---緑川水系御船川昭和63年5月洪水における避難行動---，土木研究所資料第2862号，1990.
- 4) 西原 巧：氾濫解析に基づく避難システムの河川工学的研究，京都大学博士論文，1983.
- 5) 高橋 保・中川 一・東山 基：洪水氾濫水の動態を考慮した避難システムの評価に関する研究，京大防災研年報第32号B-2，pp. 757-780，1989.
- 6) 高棹琢馬・椎葉充晴・堀 智晴：住民意識を考慮した水害避難行動シミュレーションモデルの開発，水文・水資源学会1991年度研究発表会要旨集，pp. 330-333，1991.
- 7) 田崎篤郎：災害情報伝達過程の迅速化・正確化に関する研究，1991.
- 8) 池田謙一：意志決定の基礎－緊急意志決定モデルの展開－，東大新聞研紀要.
- 9) 井上和也：開水路非定常流れの数値計算法とその水工学への応用に関する研究，京都大学博士論文，1986.

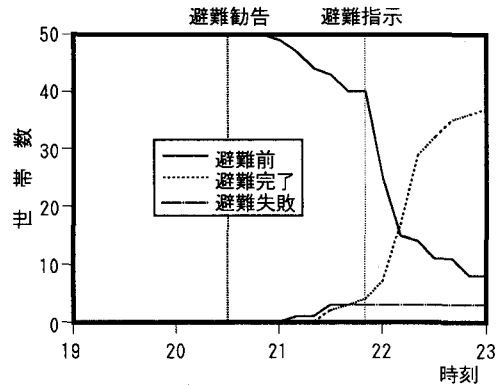


図-4 避難状況(1回目)

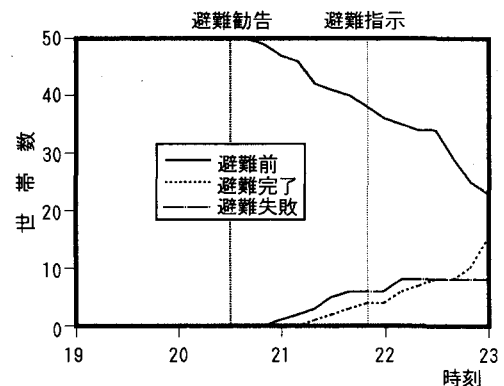


図-5 避難状況(2回目, 直後)

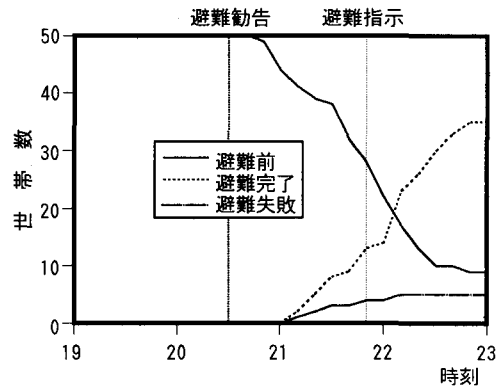


図-6 避難状況(2回目, 10年後)