

地域防災計画に基づく災害対応シミュレーションモデル

堀 智晴*・椎葉充晴*

*京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻

要 旨

地域防災計画で規定される防災社会システムの評価と問題点の抽出を行うため、災害時の情報伝達過程に着目し、防災団体が地域防災計画に定められた行動を取る過程を計算機上でシミュレートするモデルを開発した。また、地域防災計画の特性を計る定量的指標として情報シンク率を定義し、京都府地域防災計画を例に洪水時情報伝達シミュレーションを行い、災害シナリオ別にその値を比較評価した。

キーワード： 防災社会システム、地域防災計画、シミュレーション、災害対応、オブジェクト指向

1. 序論

社会のもつ防災力を評価するためには、災害の根本となる自然現象とそれに関わる社会システムとの関係を詳しく知る必要がある。災害時の自然と社会との関係を単純化して考えるとFig. 1のようにとらえることができる。災害とは、自然システムにおいて発生する現象が、社会システムに対して一定程度以上の好ましくない影響を与える状態である。社会システム側は、主として被害を受ける住民層(社会システムⅠ)と、住民層や自然システムに働きかけることで被害軽減のための組織的行動を行う防災団体(社会システムⅡ)とに分けることができる。もちろん、住民層による被害軽減活動もあれば、防災団体そのものが被害を受ける場合もある。したがって、これらシステムのもつ防災力を正しく評価するためには、災害の規模に応じてシステムの構成要素がどのような対応行動をし、その結果どの程度被害を軽減できるのかを明らかにする必要がある。

我国では、災害時に防災団体がとるべき行動は地方自治体を中心となって定める地域記防災計画に記述されている。地域防災計画には通常毎年改訂が加えられており、既に数百ページに及ぶものもある。このことは、地域防災計画によって規定されている防災社会システムあるいは災害対応システムが大規模かつ複雑になっていることを示しており、

1. 地域防災計画の中に見られる膨大な記述が果たして

相互に整合性のあるものになっているのかどうか、
2. 防災組織は、災害時に地域防災計画に記述されている行動を円滑に行うことができるのか、
3. 防災組織によって行われる災害対応行動の効果はどのようにして計ればよいのだろうか、
といった疑問が生じてくる。

災害対応行動の中心を担う地方自治体は毎年防災訓練を行っている。防災訓練は、各組織のとるべき行動を実地に行う文字どおり練習としての意味のほか、訓練を通じて所定の行動を妨げる要素にどのようなものがあるか、行動計画は実行可能かといった点を評価する手段としての意味もある。しかし、後者の意味で考えた場合、防災訓練は限られた空間・限られた条件下でしか行うことができないため、問題の抽出もごく限られた条件下のものしか行えない。したがって、例えば、防災訓練の各プロセスで起こった事象を記録・分析するという記述的アプローチには自ずと限界が生じることになる。阪神・淡路大震災での交通渋滞などの事例は、災害時に付随して生じる人間行動が、組織としての災害対応行動に大きな影響を与えることを明白に示している(土木学会関西支部1997, 1998)。

計算機によるシミュレーションは大規模かつ複雑で再現が困難な現象の分析に大きな力を発揮する。従来、人間や組織の行動をコンピュータでシミュレーションすることは困難とされていたが、近年、プロダクションシステムやファジイ理論といった知識情報処理技術やそれに

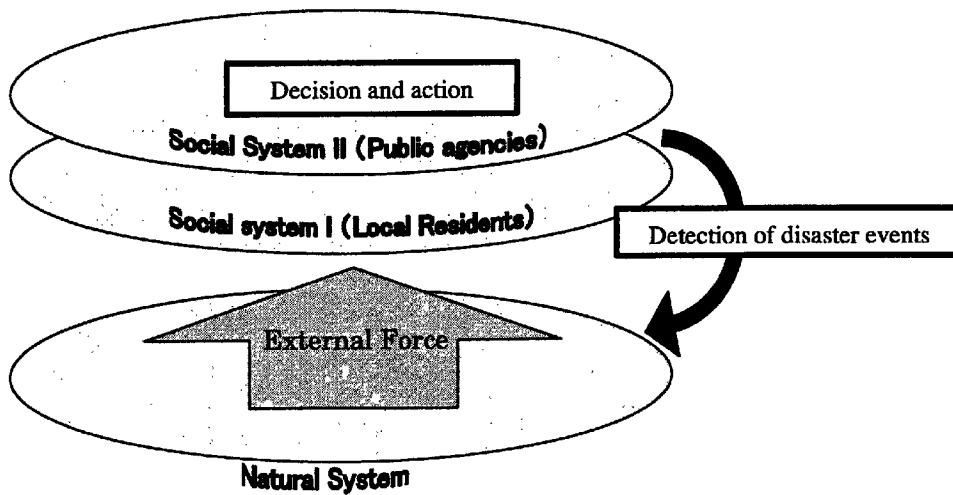


Figure 1 Disaster Prevention and Mitigation Systems

関連したプログラミング技術の発達に伴い、非数値的な情報を扱うシミュレーションモデルの開発が可能になってきた。災害時に住民、防災組織がとる行動を何らかの形でルール化することができれば、それに基づいて様々な条件下で災害対応シミュレーションを行い、例えば、地域防災計画の記述が十分整合の取れたものか、あるいは、そこに規定されている行動がどのような条件の時に実行不可能になるかといったことを事前に分析することができる。もちろん、防災社会システム全体を含む災害対応シミュレーションモデルを構築することは容易ではないが、本研究ではその第1歩として、地域防災計画の記述の中でも大きな割合を占める防災機関の情報伝達過程をシミュレーションするモデルを開発する。

2. 地域防災計画のルール表現と推論エンジンの開発

地域防災計画の記述の大部分は、防災機関相互の情報伝達方法で占められている。このことは、災害発生後の被害軽減活動に災害情報の処理および伝達が重要な役割を閉めることを示している。本章では、地域防災計画における情報伝達に関する記述をルール形式に変換し、受信情報に応じて適切なルールを選択・実行する推論エンジ

ンを設計する。

地域防災計画に記述されている情報伝達の典型的な行動様式は、Fig. 2 に示すように他機関から何らかの情報を受信し、機関内でその情報を処理した上で、別の機関に新たな情報を発信するという形にまとめることができる。したがって、一つの機関に注目した場合、行動様式は、

1. 受信情報の形式
2. 防災機関の中で処理すべき内容
3. 他の機関に送信すべき新しい情報

といった3つの属性で表現される。そこで、本研究では、これらの属性を表現するルール形式としてキーワードのついたリスト表現を採用した。例えば、「河川課から洪水警報が発せられた場合には、各土木事務所は所轄の状況を河川課に報告しなければ成らない」といった条文の場合には、

```
((name (Uji-construction-office))
(condition ((flood-warning@southern-part-of
Kyoto section-of-river-affairs))
(inner (grasp-the-situation))
(notification ((situation-in-the-jurisdiction section-of-
```

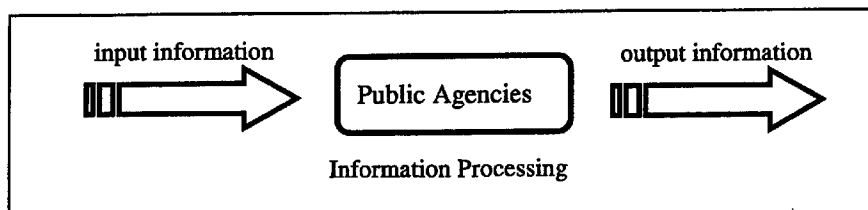


Figure 2 Typical Action Pattern of public agency in terms of information processing

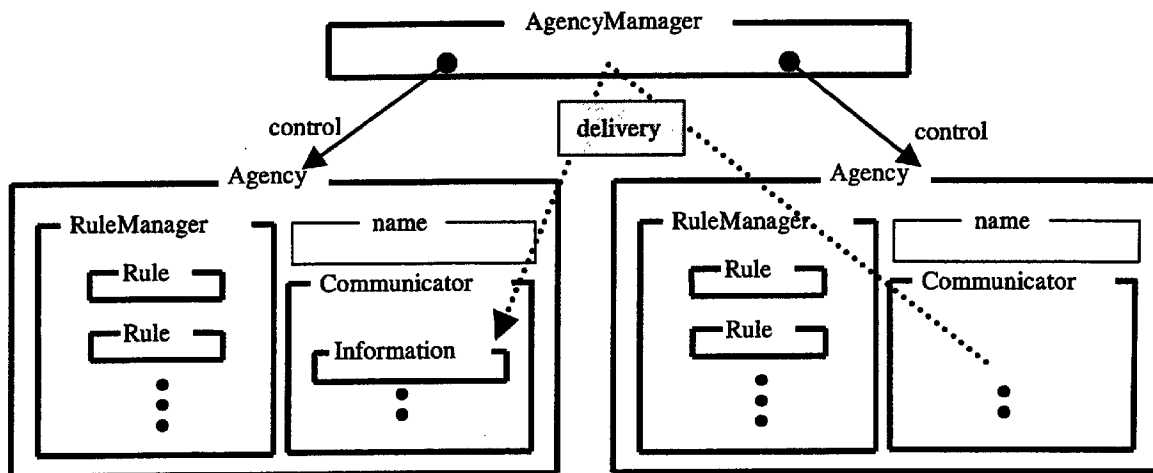


Figure 3 Class structure of public Agencies

river-affairs))

(reference (Kyoto-3-7))

という形式のルールで表現することにする。キーワード "name" に続くリストは主体となる防災機関の名前を表わしている。また、キーワード "condition", "inner", "notification" に続くリストは、それぞれ、本ルールが発火する条件となるべき受信情報の内容、受信情報に対して防災機関がとるべき内部処理、内部処理の完了後他機関に送るべき情報を示している。キーワード "reference" に続く部分は、このルールの内容が地域防災計画のどの章・節に記述されているかを表わしている。

次に、以上の表現に基づいて地域防災計画の各条文を変換・保存したルールベースから受信情報に応じて適切なルールを抽出し実行する推論エンジンを開発する。災害対応シミュレーションを行う場合には、複数の防災機関のモデルを計算機上に発生させ、相互に通信させる必要があるため、オブジェクト指向プログラミング手法が適している。そこで、本研究では、個々の防災機関を、その機関に関連する行動ルールを格納したルールベース、ルールの検索と実行処理を行う推論エンジン、他の機関との情報の授受を行うインターフェースを持った 1 個のオブジェクトとして表現することにした。防災機関のオブジェクト構造は Fig. 3 に示す通りである。クラス "Agency" は災害対応行動を行う一つの防災機関を表わし、クラス "RuleManager"、"Communicator" のインスタンスを保持している。クラス "Rule" は、その防災機関に関係する地域防災計画中の個々の条文を、前述の形式にしたがってルール表現したものを表わしている。クラス "RuleManager" はクラス "Rule" のインスタンスであるルール（地域防災計画中の条文）を格納し、受信情報の内

容に応じて適切なものを選択し、実行する機能を持つ。クラス "Communicator" は、他機関との情報の授受を扱うインターフェースである。また、クラス "AgencyManager" は、シミュレーションの対象となる防災機関のモデル（クラス "Agency" のインスタンス）群を格納し、その行動および通信を制御するものである。

3. 災害対応シミュレーションモデルの全体構造

災害対応行動のシミュレーションを行うためには、Fig. 1 で示したように、防災機関だけでなく住民層や自然システムをモデル化することが必要である。自然システムについては、例えば洪水氾濫現象のような災害をもたらす自然現象の時間的空間的な挙動を表わすモデルを結合することが望ましい。しかし、本研究では、災害時に形成される防災機関間の情報ネットワークについて重点を置いているため、災害の原因となる自然現象を同時進行でシミュレーションすることはせず、あらかじめ災害対応行動のきっかけとなる災害事象を設定したシナリオを用いることにする。実際、地域防災計画中の各条文の記述は比較的抽象的な表現でなされており、例えば時々刻々の氾濫水の水位や位置などは、情報伝達シミュレーションを行う際には必ずしも必要とはされない。そこで、本シミュレーションでは、災害の原因となる自然現象は、Fig. 4 に示すように発生事象の種類、発生場所、発生および終了時刻をデータとして持つシナリオとして表現することにした。もちろん、水防活動の詳細など実際の被害軽減活動まで含めてシミュレーションする際には、氾濫水の挙動などの自然現象のリアルタイムのシミュレーションが必要になるが、それは、別の機会に検討することにする。

本シミュレーションモデルでは、防災組織や地域住民

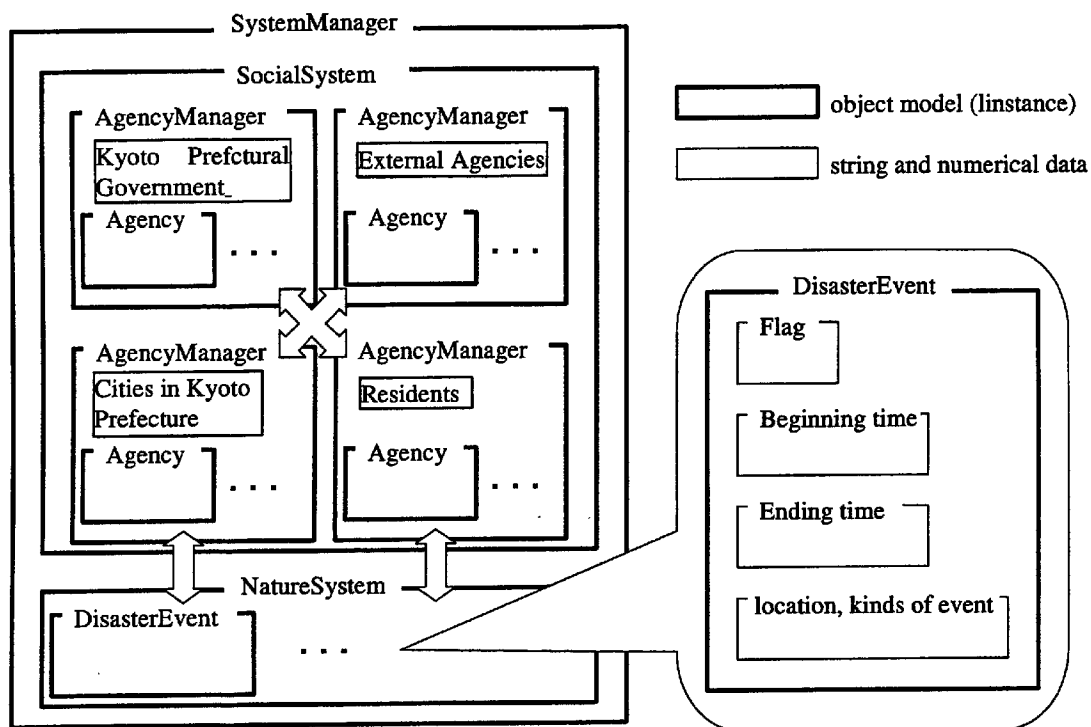


Figure 4 Total Structure of post-disaster work simulation model

からなる社会システムと自然システムとの関係として重要な要素に、災害事象の認知過程が有る。災害事象の認知過程は、本シミュレーションモデルにおける防災機関相互の情報伝達を生起させる駆動情報となるものである。この駆動情報には、モデル化の対象とする防災機関以外の外部から提供される情報と、シミュレーションモデル内の防災機関が自ら獲得する災害情報との2種類が考えられる。前者は、例えば、気象台から発せられる予警報などである。気象台などの機関は、防災機関とは異なる独自の情報収集ネットワークを持ち、そこから得られた情報をもとに災害をもたらすような自然事象の発生・深厚に関する情報を発信するもので、その挙動までシミュレーションモデルの枠内に取り込むことは不可能に近い。そこで、本研究では、災害認知過程のうち災害事象に関する予警報を発する気象台などの機関をシミュレーションの外部機関とし、発信すべき情報の内容および時刻を保持した情報発信シナリオを持つ団体と定義することにした。これにより、災害対応行動のきっかけとなる予警報などの情報の発進について、発令時刻を変化させるなど種々の条件下でのシミュレーションが可能となる。一方、防災機関自身による災害事象の認知過程は本研究で対象とする情報伝達シミュレーションの一部と考える必要がある。そこで、前章で設計した防災機関のモデルに、シナリオとして管理されている自然システム側での発生現象を一定の確率で認知する機能を付け加えることにす

る。住民層による災害認知過程も同様なモデル化を行う。すなわち、河川の増水や氾濫現象を住民層も毎時一定の確率で認知し、認知した場合には防災機関にその内容を通報するという形でモデル化している。

防災機関による意思決定も災害対応シミュレーションでは重要な要素である。この種の意思決定は、地域防災計画の記述が、防災機関の長などに特定の行動を起こすか否かの判断を委ねるような記述がある場合に必要となる。例えば、「市町村からの要請がある場合には、知事は自衛隊の派遣を要請することができる」といった記述を適用する場合には、実際に自衛隊の派遣を要求するか否かは知事の判断に委ねられており、どのような条件のときに自衛隊派遣を要求するのかといった詳細な条件は記述されていない。このような場合、決定のタイミングがその後の災害対応行動にどのような影響を与えるかを見ることが、災害対応シミュレーションの重要な目的である。そこで、本研究ではこの種の防災機関における意思決定をパラメータとして扱うことにし、シミュレーションモデルのユーザが任意にその決定を指定できるようにした。

以上の災害対応行動シミュレーションシステムの全体構造を Fig. 4 にまとめておく。Fig. 4 は京都府地域防災計画を対象としたシミュレーションモデルを表わしたものである。クラス“SocialSystem”は、シミュレーションの中心となる防災機関と、災害情報を発信する外部機関、

Table 1 disaster scenario

step	disaster information	location
21	danger of dike breaking	right side of Kizu River
41	dike break	right side of Kizu River
61	houses are destroyed	right side of Kizu River

Table 2 decision scenario

decision maker / information	case 1	case 2	case 3
the governor / heavy rainfall warning at southern part of Kyoto	warning information on large damage	warning information on large damage	warning information on large damage
Uji city / danger of dike break	no action	no action	refuge instruction
Uji city / dike break	request for the application of disaster rescue law	refuge instruction	refuge instruction

Table 3 the number of inputs and outputs, and sink ratio of the disaster mitigation agencies

agency name	case 1			case 2			case 3		
	input	output	α (%)	input	output	α (%)	input	output	α (%)
fire and disaster section	10	0	0.00	11	0	0.00	14	0	0.00
river section	15	12	80.00	16	13	80.00	19	16	80.00
Uji construction office	5	0	0.00	5	0	0.00	5	0	0.00
Uji development office	14	4	28.57	15	4	28.57	18	4	28.57
local agencies in Uji	3	1	33.33	3	1	33.33	3	1	33.33
Uji city hall	7	0	0.00	7	0	0.00	8	0	0.00
Uji flood fighting agency	5	1	20.00	5	1	20.00	6	0	0.00

住民層のモデルを保持する防災社会システムのモデルである。防災機関、外部機関、住民層はそれぞれその内部に個々の構成要素（クラス Agency のインスタンス）を持つクラス "AgencyManager" のインスタンスとして計算機上に発生させられる。Fig. 4 の例では防災機関をシミュレーションの直接対象となる京都府の機関と、それ以外の市町村機関に分けて整理している。自然システムは、シナリオ表現される個々の災害事象を表わすクラス "DisasterEvent" のインスタンスを保持するクラス "NaturalSystem" として実現している。クラス "SocailSystem" のうち、防災機関と住民層は "NaturalSystem" 中の災害シナリオを毎ステップ一定の確率で認知するインターフェースを持っている。

さて、防災機関が情報の伝達や内部処理に要する時間も災害対応シミュレーションの重要な要素である。しかし、これら個々の行動にかかる時刻を実際に決定することは非常に困難である。これらに時間は、その時に利用可能な人的資源の量や災害の状況によって大きく異なる可能性がある。ここでは、災害時情報ネットワークを流

れる情報の多寡や膨大な地域防災計画の記述が整合の取れた物井であるかどうかには注目しているため、実際の時刻を扱う代わりにステップの概念を用いることにする。ここで言うステップとは、地域防災計画中の一つの条文の処理にかかる時間を表わすものである。したがって、同じ 1 ステップであっても処理すべき内容や、その時のスタッフの状況、災害の状況に応じて対応する実際の時間は異なるが、ステップと実際の時間の対応については将来の研究に委ねることとする。

4. 適用と考察

ここでは、開発した災害時情報伝達シミュレーションモデルを京都府の地域防災計画を対象として適用を行う。災害対応行動を行う合計 31 個の府機関をモデルにとり込むとともに、これら機関の情報伝達行動に関係する地域防災計画中の記述を 200 個のルールに変換した。シミュレーションに用いる災害シナリオおよび意思決定シナリオはそれぞれ Table 1 及び Table 2 に示す通りとした。

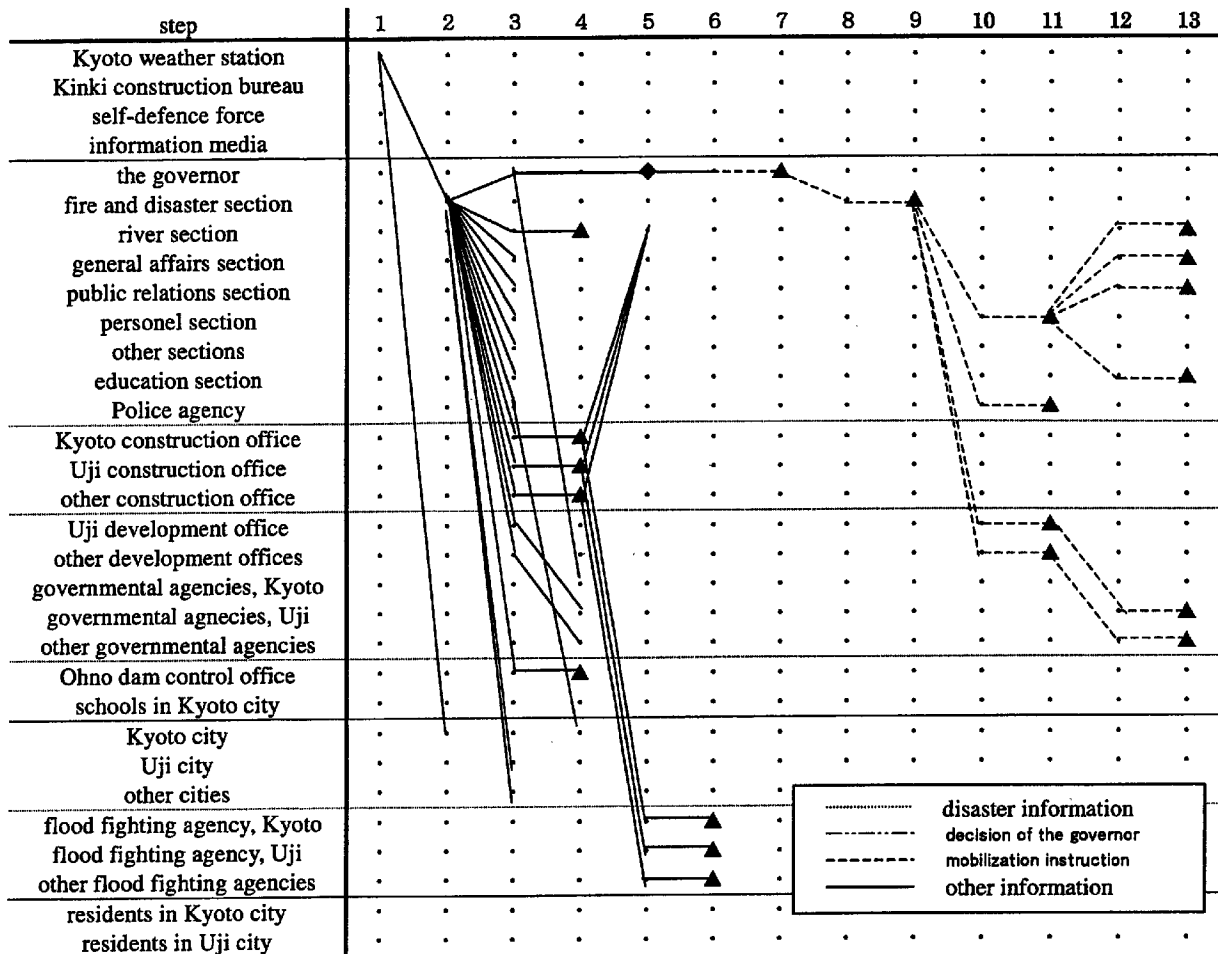


Figure 5 typical results of the simulation of informatio transmission

本シナリオでは、京都府を流れる木津川の堤防が豪雨による増水で破堤するという事象を考えている。Table 2 では、京都府内部に大雨警報が発令された際の府の行動、木津川の破堤の恐れが認知された際の宇治市の行動、および破堤が起こった際の宇治市の行動について、3種類のシナリオを用意した。

以上の条件で行ったシミュレーションの結果明らかとなった情報伝達過程の例をFig. 5に示す。Fig. 5は、Table 2の意思決定シナリオのケース1を用いた場合の結果である。図中、左の列に示された情報機関相互の情報伝達の様子をステップ別の実線で示している。三角形のマークはそのステップで体制の変更が行われたことを示し、菱形のマークは何らかの意思決定が行われたことを示している。Fig. 5の例を見ると、大雨洪水警報がステップ1に発令され、その情報が京都府の消防局および京都市に伝達されていることがわかる。その後、警報は消防局から府の16機関に伝達されている。そして、ステップ5においてこの伝達情報に基づいて知事は災害対応のための同委員指令を出し、その後のステップにこの指令が関係機関に伝達されていく様子が視覚的に理解できる。

このようなシミュレーションをTable 1, 2に示すシナリオの各組み合わせについて行った結果、防災機関が情報を受け取ったにもかかわらず、他機関に対して新たな情報を発信しないケースが少なからず存在することを見出した。このような情報ネットワークの終点は2つの種類に分けることができる。一つは、受信情報が体制変更などの内部処理を惹起し、必ずしも他機関に情報を発信する必要のない場合である。もう一つは、受信情報に対する行動が地域防災計画中に明確に記述されていないケースである。後者のケースは防災機関に混乱を来す可能性が有る。そこで、この種の記述に着目し、地域防災計画中の記述の特徴を表わす指標として情報シンク率 α を導入することにした。情報シンク率 α は、防災機関が受け取った情報の総数に対する情報を発信しないケースの割合と定義する。本シミュレーションの結果算定された各防災機関の情報シンク率を、意思決定のシナリオ別に整理したものをTable 3に示す。Table 3によれば、水防活動の中心となる河川課の情報シンク率が各ケースを通じて最大となっていることがわかる。このことは、地域防災計画中に河川課の情報伝達行動について具体的な記

述が少ないことを示している。もちろん、どの程度の詳細な行動記述がそれぞれの防災機関について必要かどうかは、情報がシンクするケースについて受信情報の性格がどのようなものかといった点について詳しい分析を行うことが必要である。しかし、本研究で開発した災害時情報伝達シミュレーションモデルが、地域防災計画の記述の整合性や情報伝達の密度について定量的に分析する有効な道具となりうるということがわかる。また、情報シンク率は、地域防災計画によって規程される防災社会システムの特徴を表わす一つの定量的情報となりうるという点が良い。

5. 結語

本研究では、洪水時に災害対応行動を行う防災組織がそごうに災害銃砲を伝達する様子をシミュレーションするオブジェクト指向モデルを開発した。また、京都府地域防災計画に基づく災害対応シミュレーションを通じて、情報シンク率を地域防災計画の記述の特性をあらわす定量的指標として定義した。今後、さらに詳しい災害対応行動シミュレーションを行うためには、以下の点について検討を進めなければならない。

1. 防災組織のスタッフの動員過程や救出・避難といった情報交換以外の対応行動をシミュレーションの対象としてモデルに組み込む必要がある。
2. 災害を発生させる自然現象については本ケーススタディではシナリオを用いて表現したが、より詳細なシミュレーションを行う際には、現象そのもののシミュレーションモデルを組み込む必要がある。

3. 防災組織による災害対応行動の効果を計測するためには、避難などの住民の対応行動もモデルに組み込まなければならない。

筆者らは、既に、洪水時の流域住民の避難行動をその心理過程を含めてシミュレーションするモデルを開発しており（高棟ら, 1992, 1995）、将来、本モデルとの結合を計っていきたいと考えている。

本研究を行うにあたっては、地域防災計画のルール化及びプログラムコーディングに瀧健太郎氏の助力を得た。記して謝意を表す。

参考文献

- 土木学会関西支部編 (1997) : 我が町の防災はこう変わった、土木学会関西支部創立 70 周年記念シンポジウム。
土木学会関西支部編(1998) : 災害対応行動について、阪神淡路大震災から学んだこと、第 2 巻 part7, 1998。
京都府防災会議 (1995) : 京都府地域防災計画。
Takasao, T., H. Shiiba and T. Hori (1992) : Micro Model Simulation and Control of Flood Refuge Actions, *Artificial Intelligence in Engineering*, Vol. 7, pp. 1049-1065.
Takasao, T., H. Shiiba and T. Hori (1995) : Modeling of Inhabitants' Attitude on Flood Disasters for Flood Refuge Simulation, *Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering*, JSCE, Vol. 13, No. 1, pp. 71-79.

An Object-oriented Evaluation Model of Local Flood Disaster Preparedness

Tomoharu Hori* and Michiharu Shiiba*

Dept. Civil Engineering Systems, Kyoto University, Japan

Synopsis

The aim of this study is to develop an estimation model of emergency safety systems focusing on the information interchange during a flood disaster. The governmental agencies are modeled as an object which is activated by disaster information and send new information based on its task to other ones. The task of each agency is expressed in a rule format based on provisions of the emergency safety plan. The natural system and the local communities are modeled as an object which have scenarios of disasters. Then the communication network among the public agencies under the flood situation is simulated to analyze the performance of emergency safety systems. Simulation results are summarized in terms of several indices defined to express the flood disaster preparedness: for example, total amount of information and sink ratio. The sink ratio is the index relating to the amount of information which does not cause any new actions when an agency receives the information.

Keywords: disaster prevention social system, plan for local disaster preparedness, simulation, object-oriented programming