

洪水に関する地域防災計画の構造分析モデルに関する研究

A Performance Evaluation Model of Plan for Local Flood Disaster Preparedness

堀 智晴¹・瀧 健太郎²・高棹 琢馬³

Tomoharu HORI, Kentaro TAKI and Takuma TAKASAO

¹正会員 工博 京都大学大学院工学研究科助教授 (〒606 京都市左京区吉田本町)

²学生員 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻 (〒606 京都市左京区吉田本町)

³フェロー 工博 京都大学名誉教授 (〒606 京都市左京区浄土寺小山町)

The aim of this study is to develop an estimation method of the plan for local disaster preparedness. To achieve this purpose, a computer simulation model of communication processes among the public agencies is developed according to the local disaster preparedness plan. Each agency is modeled as an object which is activated by disaster information and send the new information based on its task. The task of each public agencies is expressed in a rule format based on the provision of the plan. Then communication network among the public agencies under the disaster situation is simulated to analyze the performance of local disaster preparedness plan.

Key Words : plan for local disaster preparedness, performance evaluation, object-oriented simulation, flood disaster, communication network

1. 序論

阪神・淡路大震災は、本質的に想定を超える外力が生起し得ることを我々に思い出させた。この結果、各自治体では被害想定の見直しやそれに基づく地域防災計画の改定が盛んに行なわれている¹⁾。

ところで、被害想定の見直しは、地域防災計画の想定する災害の規模範囲を拡大する結果となっていることに注意しなければならない。もちろん想定外の外力に遭遇するたびにその経験を踏まえ、計画の改善を計ることは重要である。しかし、計画が最大規模の災害を対象にすべきではあっても、数年に一度起こるような事象と非常に稀で破壊的な外力を持つ事象とを同一の計画で対応することが果して効率的かどうかといった点には疑問が残る。

さらに災害が発生した際、対応行動は状況に応じて動的に変化するため、静的なマニュアルである防災計画によって、あらかじめ全てを記述することは困難であるという問題もある。したがって、静的なマニュアルをもとに動的な行動をとった場合に起こる問題点について分析しておく必要もある。

以上のような問題を考える際には、地域防災計画を

策定・改定するたびに、その計画の持つパフォーマンスをできる限り客観的・定量的に評価することが必要である。地域防災計画の持つ性能を評価できる手法の一つに防災訓練・演習がある。これは実際に人員・組織が防災計画に基づいて定められた行動を行なうもので、計画の持つ性能や問題点をチェックする有効な手段である。しかしこれらの訓練を地域防災計画の性能評価手法と考えるには、

- (a) 訓練対象が直接防災業務に携わる人員や組織に限定された閉じた系となるため、交通網の麻痺など外部環境を表現しにくいこと
- (b) 頻度に限界があり様々な規模・形態の外力や外部環境の条件のもとでの分析ができないこと

といった問題がある。これらのことから、自由な条件設定の可能な計算機シミュレーションが地域防災計画の構造分析や性能評価のための有効な手段と考えられる。

そこで、本研究では防災機関が地域防災計画に基づいて行動する様子を計算機上でシミュレーションするモデルを開発することを考え、その第一歩として、地域防災計画の記述を計算機上にルール形式で表現・蓄積し、それに基づいて防災対策機関相互の情報伝達の様子を再現するモデルを設計する。

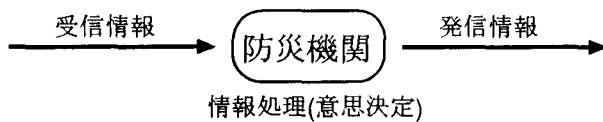


図-1 防災機関の基本行動様式

2. 防災機関の情報処理過程

さて、災害対応時の情報伝達過程に着目した場合、地域防災計画に登場する各機関の基本行動パターンは図-1で示すように、まず災害情報を受信し、それに対して情報処理（意思決定）を行なったあと、つづいて他の機関に新しい情報を発信するというように抽象化できる。そこで、このような各防災機関に共通する一連の動作をルールと呼ぶことにする。例えば、「土木事務所は河川課より洪水警報が発せられた時、河川課に所轄区域内の状況を報告する」という条文の場合、

- (a) 受信情報（洪水警報）
- (b) 発信元の防災機関（河川課）
- (c) 情報処理内容（所轄区内の状況把握）
- (d) 発信情報（所轄区内の状況）
- (e) 発信先（河川課）

というようにルール化することができる。

すなわち災害発生時、防災機関に対してある情報が入ってくると、その機関は自らの持つ複数のルールのうち適切なものを選択し、そのルールにしたがって情報処理・意思決定を行ない、その結果として発生した情報を別の機関に対して送ることになる。これは、災害が発生し何らかの情報が防災機関によって入手されると、地域防災計画に基づいた一種の災害時情報網が形成されることを意味する。

この災害時情報網が適切に構築されるか否かは、防災機関の対応が効率的に行なわれるかどうかを大きく左右する。またこの情報網を流れる情報負荷を分析することにより、防災計画に情報伝達上の隘路が存在しないかなどのデータを得ることができる。

3. モデルの構造とシミュレーションアルゴリズム

(1) オブジェクト指向

地域防災計画に基づいた情報伝達過程を再現するモデルを作成するに当たり、本研究ではオブジェクト指向プログラミング手法³⁾を用いる。オブジェクト指向プログラミングとは、データとそれに対する手続き（メソッド）を備えた、オブジェクトと呼ばれる要素をプログラミングの基本単位としてソフトウェアを設計する手法である。実際のプログラム作成は、クラスと呼

ばれるオブジェクトの共通仕様を定義する要素を記述することが中心となる。

この方法を用いれば、例えば、2. で述べた各防災機関の共通特性をクラスとして記述することができる。個々の具体的な防災機関はこのクラスによって規定される構造に、各機関独自のデータや手続きを加えることで計算機上に発生させればよい（クラス定義にしたがって計算機上に発生させられた個々のオブジェクトをそのクラスのインスタンスと呼ぶ）。具体的には、防災機関は、入力データに応じて個々のルールを選択し、他の機関（オブジェクト）に新しい情報を発信するオブジェクトとして記述することができる。さらに、個々の機関について独自性を記述する必要がある場合は、クラスの継承機能を利用して一般の機関に対する定義に変更や追加を行なうことも可能である。このように、防災機関の行動を抽象化して共通仕様として定義できることは、本研究で対象とするような情報駆動型のシミュレーションには、有力な手段となる。

(2) モデルの構造

本研究で開発したモデルは、図-2で示すように、Rule・Agency・AgencyManager という3つのクラスから構成される。Rule クラスは各防災機関が固有に持つルールそのものを表し、災害発生時における受信情報、その受信情報に対する情報処理内容、発信すべき情報、また処理に必要とする時間といったデータを扱う。Agency クラスは、個々の防災機関の持つ機能の内共通のものを抽象化して記述したものであり、機関名、受信情報、防災機関固有のルールそのものである Rule クラスのインスタンスをデータとして持ち、状況に応じたルールの選択やそれに基づく情報処理および情報の発信等を行なう。AgencyManager は Agency クラスのインスタンスを保持し、ある防災機関から発せられた情報を宛先の機関に対して正しい順序で伝達したり、シミュレーションの終了を判断したりするなど、シミュレーションの進行を制御する役割を持つ。

(3) シミュレーションアルゴリズム

本研究では、伝達された情報によって防災機関の行動が活性化される情報駆動型のシミュレーションを行なう。ところで、災害時の情報を扱う場合、一つの機関が同時に複数の情報を受信・発信するケースが数多く存在する。ところが、計算機による処理は逐次行なわれるため、情報伝達過程を正しく表現するためには若干の工夫を要する。

いま、図-3のように、

- (a) 情報 X を受信した機関 A が内部処理を行ない、情報 Y を機関 B、機関 C に発信する

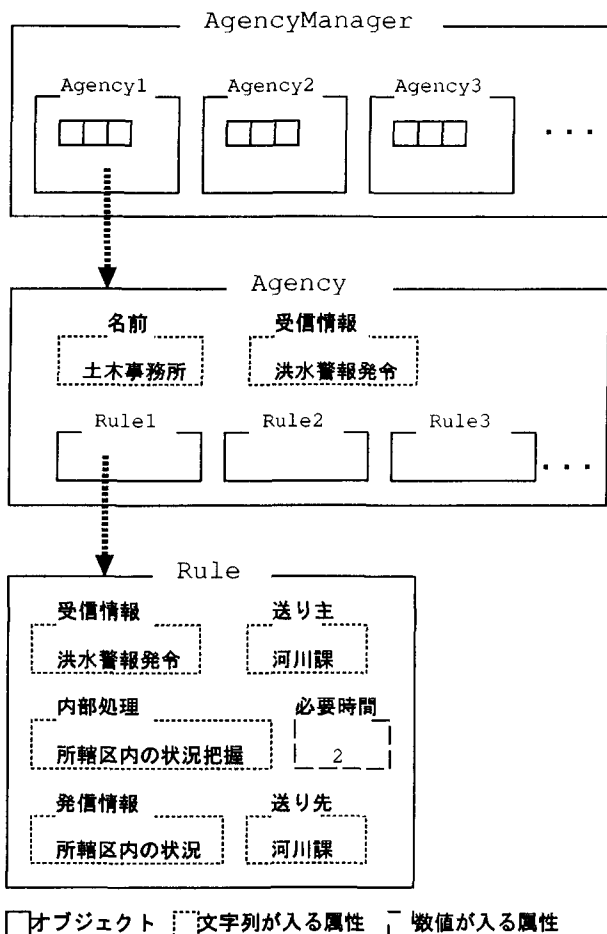


図-2 モデルのクラス構造

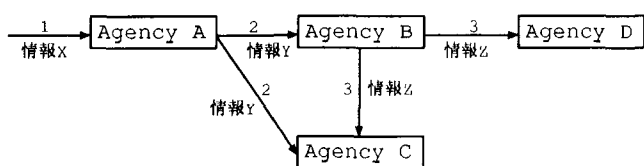


図-3 正しい順序での情報伝達

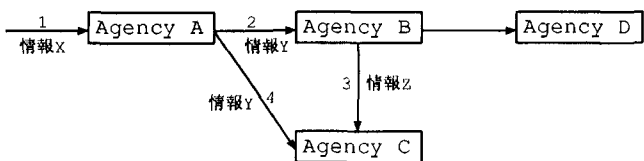


図-4 誤った順序での情報伝達の例

- (b) 機関 B, 機関 C が情報 Y を受信する
 - (c) 機関 B が情報処理 (意思決定) を行ない, 機関 C, 機関 D に情報 Z を発信する
 - (d) 機関 C, 機関 D が情報 Z を受信する
- という順に伝達すべき情報網があったとしよう。この伝達過程のシミュレーションを考える時、計算機はプログラムの書かれた順に一つ一つ処理するため、例えば、図4のように、
- (a) 情報 X を受信した機関 A が内部処理を行ない、情

- 報 Y を機関 B に発信する
 - (b) 情報 Y を受信した機関 B が内部処理を行ない、情報 Z を機関 C に発信する
 - (c) 機関 A が情報 Y を機関 C に発信する
- という順序で処理を行ってしまう可能性がある。この場合機関 C は、情報 Y を受信する前に情報 Z を受信してしまうことになり、現実との食い違いが生じてしまう。

この問題を解決するために、本研究では Rule クラスの属性として、フラグというパラメータを導入し、情報伝達の順序を制御する方法を用いる。すなわち、

- フラグ 2：内部処理すべき情報がある状態
- フラグ 1：発信すべき情報がある状態
- フラグ 0：何もしない状態

と定義する。このフラグを AgencyManager がチェック・操作することで、シミュレーションは進められる。フラグの操作は、

- (a) 機関がフラグ値 1 のルールを持つ場合そのルールにしたがって情報発信を行ない、そのルールのフラグ値を 0 にし、受けとった側は着信情報に適合するルールのフラグ値を 2 とする。
- (b) フラグ値 1 のルールがなくなった時点で、時間ステップを 1 単位進める。この時フラグ値 2 を持つルールの情報処理時間が 1 単位消化される。
- (c) フラグ値 2 を持つルールの情報処理時間を全て消化した時点で、そのルールのフラグ値を 1 とする。
- (d) 全てのルールのフラグ値が 0 になった時点でシミュレーションを終了する。

という規則で行なわれる。

このパラメータを用いることにより、情報の伝達順について現実に即した形で計算機シミュレーションが行なえる。例えば、図 3 の情報網であれば、機関 A の情報発信が全て終了、フラグ値 1 のルールを持たなくなるまで時間ステップは進まないで、機関 C に対して機関 A よりも先に機関 B が情報を発信してしまうことはない。

4. 適用と考察

ここでは、前節で提案した手法を検証するために、京都府地域防災計画 (H6 年度版) を例にとった情報伝達シミュレーションを行なう。具体的には京都府地域防災計画全 4 編のうち、気象等観測・予報計画 (2 編 1 章)、災害対策本部等運用計画 (3 編 1 章)、動員計画 (3 編 2 章)、通信情報計画 (3 編 3 章)、水防計画 (3 編 7 章)、避難対策計画 (3 編 9 章) および自衛隊災害派遣計画 (3 編 33 章) の記述を対象とした。

(1) 各防災機関毎の情報処理負荷

表-1 初期情報とそれを与えた機関

初期情報	与えた Agency
福知山の水位	福知山工事事務所
榎尾山の水位	近畿地方建設局
荒神橋の水位	京都土木事務所
雨量・水位の観測通報の指示	土木事務所
地域気象観測所の雨量	舞鶴海洋気象台
対策支部設置の指示	地方振興局
警戒支部設置の指示	地方振興局
1号動員指令	消防防災課
2号動員指令	消防防災課
3号動員指令	消防防災課
各市町村の災害情報	地方振興局
各市町村の被害状況	地方振興局
府の緊急警報放送要請	NHK 京都
各市町村の緊急警報放送要請	府知事
各市町村の放送要請	NHK 京都
府の放送要請	NHK 京都
府の放送要請	FM 京都
各市町村の放送要請	FM 京都
てんまつ報告	土木事務所
水防に関する異常現象	水防管理者
ため池の異常	水防管理者
堤防の異常	土木事務所
ため池の水防上の危険	地方振興局
堤防の水防上の危険	土木事務所
堤防の決壊	土木事務所
堤防の決壊	地方振興局
水防体制移行の指示	河川課
非常配置に関する指示	水防管理者
出動命令	水防団
出動命令	ため池等管理者
避難を指示したこと	警察署

表-2 各機関の情報処理回数

消防防災課	141	市町村	18
水防施設管理者	2	河川課	80
水防事務組合**	14	水防団	4
知事公室	18	京都市	13
京都地方気象台	38	府警本部	14
大野ダム	4	舞鶴海洋気象台	27
府議会	11	和知ダム	4
陸上自衛隊	4	建設省所属機関*	29
NHK 京都	10	教育庁	18
府知事	4	広報課	2
人事課	5	総務企画課	3
府警警備第1課	3	FM 京都	2
土木事務所	39	水防管理者	11
ため池等管理者	12	地方振興局	32

*建設省所属機関；近畿地方建設局、淀川ダム統合管理事務所、淀川・福知山・木津川上流各工事事務所

**水防事務組合；澁川右岸・桂川小畑川・淀川木津川各水防事務組合

*「水位」については、警報や注意報を発するに十分な値であるとし、情報ネットワークを形成させるために、警報・注意報発表機関がそれを受信した場合は必ず警報や注意報を発するように設定している。

作成したモデルに外部から与える情報として、表-1に示すものを抽出した。これらの情報は、シミュレーションの対象としている機関が地域防災計画に定められた所定の行動を始めるきっかけとなるものである。表-1中の一つの情報をシミュレーションモデルに与えると、それがきっかけとなって、防災機関相互の情報伝達が再現される。対象とする防災機関を44とし、表-1にしめす31通りの情報に対して別々にシミュレーションを行なった結果を表-2に示す。表-2は、上記31通りのきっかけ情報に対して、各機関が情報伝達を行なった回数の合計を示したものである。これによれば、全体の平均情報処理回数40.14回に比べ、河川課80回、消防防災課141回とかなり大きい数値を示している。この回数は計画の中で想定されている情報が対策機関に伝達された際に、それにともなって各機関が処理をしなければならぬ情報負荷を表している。したがって、以上の結果から、河川課や消防防災課が防災計画における情報網の中心となっていることが定量的に確認で

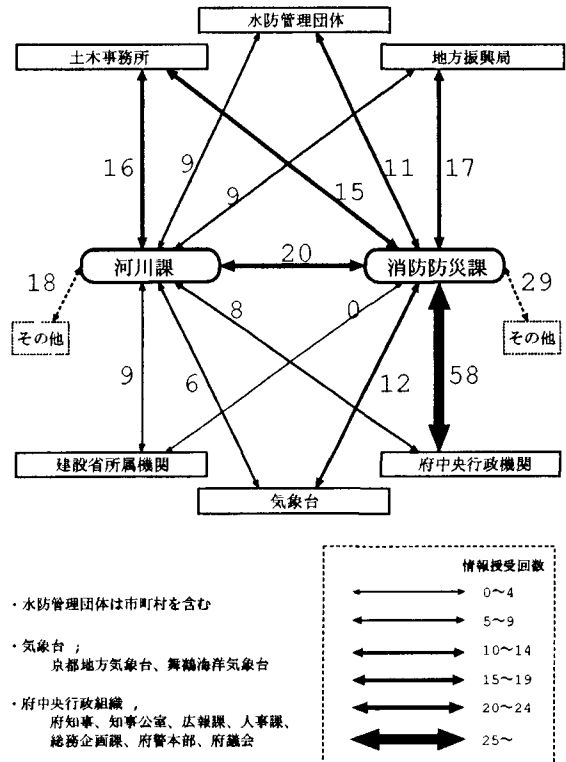


図-5 河川課・消防防災課と主要6団体の情報の授受

きたといえる。

もちろん以上の結果は、具体的な災害事象を防災機関が検知した状態からシミュレーションを行なっているわけではないので、特定の災害事例に対する各機関の情報処理負荷を表したのではない。したがって、今後、各防災機関が災害事象の発生を認知するプロセスをシミュレーションモデルに組み込み、特定の災害シ

ナリオに対する災害対応行動が再現できるようにしていく必要がある。

(2) 情報伝達経路の集中度

情報網の中心となっていると考えられる機関について、機関相互の情報伝達回数を図化したものが図-5である。この図から、単一機関相互の情報授受回数で見れば、消防防災課-河川課間が20回と最も多いことがわかる。また、主に消防防災課と府の中央行政機関、河川課と府の地方機関（土木事務所、地方振興局）や国の出張機関（建設省所属機関）とを結ぶラインに情報が集中していることわかる。したがって、これらの情報伝達過程には容量の確保とともに、万一切断された場合の迂回路を設けておくといった対策が重要であることがわかる。

(3) 情報処理負荷の時間的变化

次に、開発したシミュレーションモデルを用いて、応急対策活動中における京都府各防災機関の情報処理による負担の時間的推移について分析する。なお、洪水災害が起きてから終了するまでの間の一連の情報伝達過程全体について分析するためには、洪水現象や被災状況そのもののシミュレーションが必要となるため、ここでは、災害時にポイントとなる一つの判断に関連する情報伝達過程を取り出して考察することにする。

まず、自衛隊派遣要請に関する情報の伝達過程を考える。表-3は、市町村から、所轄の災害対策支部に自衛隊の派遣を要請する情報が入った時点を経験ステップ0とし、その後の防災機関間の情報伝達過程をシミュレーションした結果をまとめたものである。表中の数値は、各時間ステップに各機関が処理した情報の単位数を表している。下段の機関は京都府の機関以外のもので、京都府のいずれかの機関より情報を受けた時間ステップに○印が記述されている。なお、ここでは、一つの情報が発信機関から受信機関に伝達される単位を経験ステップと呼んでおり、実際にかかる時間というよりも処理に必要な手続きの数に対応するものである。また、災害対策本部長が自衛隊派遣要請を行なうのは、府の各機関に市町村からの自衛隊派遣要請が伝達された後としている。なお、この順序関係に関する記述は地域防災計画にはないが、自衛隊派遣要請の重要性を考え、ここでは、上述のルールを付加して分析を行なっている。

表-3を見ると、時間ステップ0に災害対策支部が所管する市町村からの自衛隊派遣要請を受けとってから、7ステップ目で初めて自衛隊に派遣要請が伝達されていることがわかる。さらに、この情報の処理が終了するのは第12ステップである。また、この機関内の情報処

理過程を見ると、時間ステップ6,7において調整班が比較的多くの情報を処理しており、この時間帯での負担が大きいことが分かる。

次に、大雨洪水警報といった気象情報の伝達過程と災害情報・被害状況の伝達過程についても同様な分析を行なった。災害情報・被害情報が時間ステップ0に防災対策支部に届けられた後の情報伝達シミュレーションの結果を表-4に、気象情報の場合の表-5に示す。これらの結果から、災害・被害情報の伝達処理には合計4ステップ必要であり、災害対策支部が最初の情報を受けとった後、調整班の処理が重要になること、また、気象情報の伝達に関しては、河川課の初期処理負荷が高いことなどが分かる。

以上、ここでは、洪水災害時に重要となる自衛隊派遣要請、災害・被害状況、気象情報について、情報伝達シミュレーションを行ない、各機関にかかる負荷が情報伝達の手続きの中でどのように変化するかを定量的に分析した。ただし、ここでは、情報伝達の手続き数を時間ステップととらえているため、得られた結果は実際の時間経過と直接対応づけられるものではない。例えば、ここで用いた時間ステップも実際には一定ではなく、処理内容によって変化するべきものであることは容易に想像できる。しかし、本研究で開発したシミュレーションモデルによって、地域防災計画に基づいた防災機関の情報伝達行動が定量的に分析できる可能性は確認できたといえる。今後、過去の災害事例をもとに、シミュレーションに用いるルールの精緻化を測ることにより、本手法の現実性をより高めていきたいと考えている。

(4) 情報処理の遅れが防災活動へ与える影響

次に京都府のある防災機関の機能が麻痺した場合、それが京都府としてのパフォーマンスに与える影響について分析した。例えば、市町村から京都府に対して自衛隊派遣要請がなされた場合、京都府としての役割は、

- 役割 A 自衛隊に対し派遣要請を行なうこと
- 役割 B 自衛隊派遣要請がなされたことを市町村へ報告すること
- 役割 C 自衛隊派遣要請がなされたことを報道機関へ報告すること
- 役割 D 関係各班に準備をさせること

の4つがある。表-6は、表中の防災機関の機能が麻痺し各々の情報処理が時間ステップ1単位余分にかかるとした場合、京都府としてのパフォーマンスはどれだけの遅れが生じるかを示している。例えば、時間ステップ1単位を10分と仮定すれば、対策支部の仕事が10分遅れた場合、自衛隊派遣要請は10分、市町村への連絡は20分遅れることがわかる。全体的な数値の大きさ

表-3 自衛隊派遣要請に関する情報伝達過程

時間 STEP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
対策支部	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
調整班	0	3	0	0	0	0	5	4	0	0	0	0	0	0
広報班	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
関係各班	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0
動員班	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
本部長	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
報道機関	-	-	-	o	-	-	-	-	-	o	-	-	-	-
自衛隊	-	-	-	-	-	-	-	o	-	-	-	-	-	-
市町村	-	-	-	-	-	-	-	-	-	o	-	-	-	-

5. 結論

表-4 災害情報・災害状況に関する情報伝達過程

時間 STEP	0	1	2	3	4	5
対策支部	1	0	0	0	0	0
調整班	0	3	0	0	0	0
広報班	0	0	1	0	0	0
関係各班	0	0	0	0	1	0
動員班	0	0	1	1	0	0
本部長	1	0	1	0	0	0
報道機関	-	-	-	o	-	-

表-5 気象情報に関する情報伝達過程

時間 STEP	0	1	2	3
消防防災課	0	3	0	0
河川課	5	0	0	0
関係各部署	0	1	0	0
知事	0	0	0	0
土木事務所	0	1	0	0
地方振興局	0	0	0	0
府警	-	o	-	-
市町村	-	o	-	-
教育庁	-	-	o	-

表-6 感度分析結果（自衛隊派遣要請）

役割	A	B	C	D
本部長	1	1	1	1
対策支部	1	2	1	1
調整班	2	2	2	2
広報班	0	0	1	0
動員班	0	0	0	1
関係各班	0	0	0	1

を比較すると、調整班・対策支部の情報処理の遅れが京都府の役割に対して重大な影響を与えることがわかる。ただ、この過程の中で最も重要であると考えられる役割 A については、調整班の影響が時間ステップ 2 単位に対して、対策支部の影響が時間ステップ 1 単位となっており、調整班の遅れの方が重要な問題と言える。このことから第一に機能確保が重要なのは調整班、次に対策支部であると考えられる。以上、本手法を適用することで、一つの機関の情報処理の遅れが全体に対して与える影響を感度分析できることが分かる。

本研究では、現在改定が進められて非常に大部なものになっている地域防災計画の構造を評価するためのモデルを、特に防災機関相互の情報伝達過程に着目して設計した。また開発したモデルを用いて、京都府地域防災計画の内容にしたがった情報伝達過程を計算機上で再現することを試みた。その結果、本研究で提案した手法によって、情報処理負荷量、情報処理負荷の時間分布、情報集中度といった形で、地域防災計画の性能を定量的に評価できる可能性を示すことができた。

しかしながら、今回の適用では、個別情報に対する防災機関の反応を分析したに留まっており、災害の規模や頻度と地域防災計画の構造・性能とを関連づけて議論するには至っていない。これを可能にするためには、本モデルに災害発生の時刻や場所を取り扱う機能および防災機関が災害を検知する過程を表す機能を付加し、現実にもった災害のシナリオを与えることによって、防災対策機関の動きをシミュレーションする必要がある。このようなシミュレーションを行なうことによって、マニュアルに静的に記述された計画と実際の行動との関係を定量的に見ることが可能になる。本研究で提案したモデルは、以上の計算機シミュレーションによる地域防災計画分析の基本となると考えている。

謝辞：京都府および京都市消防防災課の方々には、我々の突然の訪問にも快く対応して頂くばかりか、貴重な情報・資料を提供して下さいました。心から御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会関西支部：「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, 1997.
- 2) 京都府防災会議：京都府地域防災計画-第 1 編 総則・第 2 編 災害予防計画・第 3 編 災害応急対策計画・第 4 編 災害復旧計画-, 1995.
- 3) Cox, B. j: オブジェクト指向のプログラミング-, 前川 守 監訳, pp37-48, 1988.

(1997.9.30受付)