

GISを用いた災害情報伝達シミュレーションモデルの開発

SIMULATION MODEL FOR DISASTER INFORMATION USING GIS

桜庭雅明*・桑沢敬行*・石橋晃睦*・片田敏孝**

Masaaki SAKURABA, Noriyuki KUWASAWA, Akichika ISHIBASHI and Toshitaka KATADA

When the application of disaster prevention on the GIS was introduced to research and development and an enterprise is promoted now, it is required to consider as the system, which can perform a synthetic regional disaster-prevention plan. We recognize the importance of transferring information to the local residents during the time of a calamity and have developed a model for disaster information communication. This model can be used as an important component for disaster prevention plan engineering. This paper is intended to discuss the technical improvements that were needed to make the model of disaster information transfer cooperate with the GIS, so that it could be of practical use in the GIS.

Key Words: disaster information model, GIS, disaster prevention plan

1. はじめに

河川行政に必要となる各種情報を総合化して効率的に管理・運用するための画期的な技術として、近年、地理情報システム(GIS: Geographic Information System)が注目され、河川GISとしてその研究開発ならびに事業への導入が推進されている。河川GISの整備目的には、平時における河川管理への利用と洪水時の防災対策への利用が考えられる。このうち防災対策への利用について考えると、従来からの治水施設整備を中心としたハード対策に加えて、氾濫時における住民避難の効率化を念頭にした減災策(ソフト対策)が重視されるようになってきた。河川GISも、避難情報提供や避難誘導の迅速化や、効率化などの社会的な対応ができる機能を備えることが必要となる。

洪水時の危機管理の最重要課題は住民避難の適切な誘導にあり、発災時に想定される様々なシナリオのもとで、被害の最小化を可能とする対応のあり方を事前に検討しておくことが重要である。このような事前の検討においては、少なくとも氾濫の進展過程とそれに伴う避難情報の伝達過程、そのもとでの住民の避難過程までが一貫して扱われることが必要であり、それらの各過程に様々なシナリオを想

定した検討が求められる。このような一連の検討を可能とする河川GISの開発を考える時、河川GISが具備すべき機能には次のようなものが考えられる。まず、河川GISで対象とする地理空間は、河道内のみならず流域の市街地を含み、市街地については、氾濫過程に関わる地形などの地理情報に加えて、避難情報の伝達や住民避難に関わる地理情報や住民情報、情報伝達施設に関する情報などが共有的に整備されていることが必要となる。次に、氾濫、情報伝達、避難の各過程には、空間と時間に対するシナリオ設定が必要であり、河川GISに組み込まれる各過程のシミュレータは、それが可能であることが求められる。また、氾濫、情報伝達、避難の各過程は、共通の時間経過の中で進展するため、河川GISもそれに対応して、各過程間のダイナミックな関係構造を扱える機能が求められる。

このような河川GISに求められる機能のうち、氾濫の進展過程や住民の避難行動を扱った研究には多くの事例¹⁾²⁾があり、既に実用段階にある。しかし、地域の住民が時間経過のなかで避難情報を取得する過程については、十分な技術的検討が行われていないのが現状である。これに対して筆者らは、行政から発信される避難情報が地域住民に広まっていく様子を表現することができるシミュレーションモデルの研究開発³⁾を行っている。

そこで本研究では、この災害情報伝達シミュレーション

* 首都圏事業部 情報システム部

** 群馬大学工学部建設工学科

モデルをGISに組み込むことで、GIS上で災害情報の伝達過程に関する一連の検討を行うことができるシステムを開発した。このシステムは、シミュレーション実行時にGISの持つ地理情報や解析機能を効果的に利用することにより、地域の道路網を計算に取り入れ住民行動をより詳細に表現することや、地域の情報伝達施設や世帯それぞれの状況を反映して個別表現するなど、対象とする地域の地形状況や社会状態を忠実に表現し、そのもとで時間経過に従った情報伝達過程の表現を実現している。本論文では、このシステムのご概念や構造に関する記述に併せて、具体的な情報伝達シナリオを検討した事例について紹介する。ここで開発された避難情報の伝達過程のシミュレーションシステムは、氾濫の進展過程や住民の避難過程と合わせて一貫したシステムとすることで、災害対応型河川GISを構成することが可能となる。

2. 災害情報伝達シミュレーションモデルの概要³⁾⁴⁾

(1) モデルの概要

災害情報伝達シミュレーションモデルは、地域に生じる多様な被災状況下において、避難勧告や指示などの災害情報が地域住民に対し発令されてから、その情報が伝達メディア(防災行政無線、テレビ・ラジオなど)、住民間情報伝達(口頭伝達、電話伝達)により伝達されていく過程を表現するモデルである。

このモデルの特徴は、住民個人の位置をxyz座標系に配置することによって、現実的な空間における情報伝達を再現していること、住民個人や情報伝達メディアの情報伝達によって消費される時間を考慮することで、時間経過のもとで情報伝達状況を表現できるようにしたこと、さらに、住民個人の伝達行動の特性や防災行政無線などの各情報伝達メディアの特性をパラメータとして組み込むことで、シナリオに合わせたメディア機能の操作を可能としていること、などである。

(2) 住民間情報伝達

住民間情報伝達のモデルは、口頭伝達行動と電話伝達行動のモデル化から構成される。まず、住民間の口頭伝達行動については、何らかの手段により情報を取得した任意の住民を情報発信者として、順次口頭伝達によって伝え広められる情報の伝達過程をネットワークの生成過程と捉えてモデル化している。

本モデルにおける住民間のネットワークは、xyz座標系でその位置を表現された住民間のランダムな相手選択を基本に構成し、そこに被災の程度によって変化する住民の情報伝達行動の特性を表現するパラメータを機能させること

で、被災状況を反映した住民間の情報伝達過程を表現している。本研究では、住民の口頭伝達行動の特性を、情報を伝達する相手の人数、選択した伝達相手までの距離、そして、相手選択時にみられるバイアス(偏り)という3つの視点から表現する。また、口頭伝達行動の時間特性については、情報を取得してから伝達を行うまでの待機時間、伝達行動により消費される時間の2つをパラメータ化することによって表現する。これらの具体的なパラメータ値は、シミュレーションの対象地域において調査を行うことにより抽出する⁴⁾。電話伝達行動のモデル化については、口頭伝達行動のモデル化に準じ、ほぼ同様な方法でモデル化している。ただし、そのメディア特性から、伝達相手距離、伝達消費時間は考慮する必要はないが、輻輳率や輻輳時間分布(電話の混線状態を表すパラメータ)を考慮することが必要であり、それらを反映してモデル化を行っている。

(3) 情報伝達メディアの表現

本モデルにおける情報伝達メディアは、各メディアの情報伝達特性を反映する形で、ネットワークの形成過程に組み込んで表現されている。例えば、情報伝達特性に関して、防災行政無線システムの屋外拡声器についてみると、屋外拡声器は、地域の防災機関からの情報を、周囲の多数の住民に対して一度に伝達することができる特徴を持つ一方、聴取率が天候に左右され易いなどの問題点も持っている。そのため本モデルでは、これらの伝達特性を表現するため、屋外拡声器のパラメータとして、拡声器の音声を聞くことができる範囲である音声到達範囲及び音声到達範囲内の世帯で実際に情報を得ることができる世帯の割合である聴取率を導入し、これらの値に基づいて情報を取得する住民(ネットワークに加わる住民)を定めるようモデル化している。また、伝達時間特性については、屋外拡声器が発声した時点をシナリオに基づいて与え、その時点で屋外拡声器による情報伝達が、ネットワーク形成に追加される形で機能することになる。

以上のように、屋外拡声器については、その配置位置、音声到達範囲、聴取率、発声タイミングをパラメータとしたシナリオ設定が可能であり、そのシナリオに基づく情報伝達ネットワークの形成が、住民間情報伝達や他の伝達メディアとの連携のもとで行われることになる。

(4) 情報伝達状況の評価

シミュレーションモデルによって表現される情報伝達状況を評価するため、本研究では、情報伝達を悉皆性(まんべんなく広がる性質)、速達性、正確性、安定性、そして、多重性の5つの視点から捉える。その計測指標として、ま

ず悉皆性の観点から、情報を取得できた住民の割合を示す情報取得率を定義する。そして、安定性を評価するため、同条件のシミュレーションを複数回行った場合の情報取得率の標準偏差を求める。次に、速達性の指標としては、住民が情報を取得した時間を示す情報取得時間を用いる。また、情報の質的変容は、情報伝達の回数に依存すると仮定できることから、正確性の代理指標として住民が情報を取得するまでの伝達プロセス数を表すステップ数を定義している。最後に、複数の情報を取得することが情報の信頼性を高め、住民避難を促すことにつながると考えられることから、情報伝達の効果を計る一つの指標として多重性を定義し、情報を受けた回数を示す情報取得回数をその代理指標とした。

3. GISへの災害情報伝達シミュレーションの導入 (1) システム概要

本研究で開発するGISをベースとした災害情報伝達シミュレーションシステムは、行政などの防災担当者が、災害時における住民への情報伝達状況を事前検討するためのツールとすることを目的としている。本システムでは、表-1に示す災害時に機能する情報伝達メディアを通して地域へ情報が広まっていく状況を表示することができる。本システムを利用して、目的にあった地域の情報伝達体制と情報伝達シナリオを反映させたシミュレーションを行うことによって、防災行政無線システムの配置計画や災害の進展過程に応じた避難勧告・指示の発令タイミングの検討など、情報伝達メディアの配備計画や災害情報の伝達戦略の具体的検討を行うことが可能となる。

本システムを利用して地域の情報伝達の検討を行う具体的な流れとしては(図-1参照)まず、検討対象となる地域のGISデータベースを準備し、屋外拡声器などの情報伝達施設を配置することによって、GISの電子地図上に地域の地理状況を表現する。次に、災害時に発生すると考えられる様々な状況に合わせて、各情報伝達メディアの伝達開始タイミングや伝達特性機能を任意に指定することによ

表-1 伝達メディアと伝達特性パラメータ

伝達メディア	伝達特性パラメータ
屋外拡声器	音声到達範囲、聴取率、発生タイミング
広報車	移動速度、発信タイミング、移動ルート、音声到達範囲、聴取率
住民間口頭伝達	伝達相手数分布、伝達距離帯分布、歩行速度
住民間電話伝達	伝達相手数分布、輻輳率、輻輳時間分布
テレビ・ラジオ	視聴率、放送タイミング

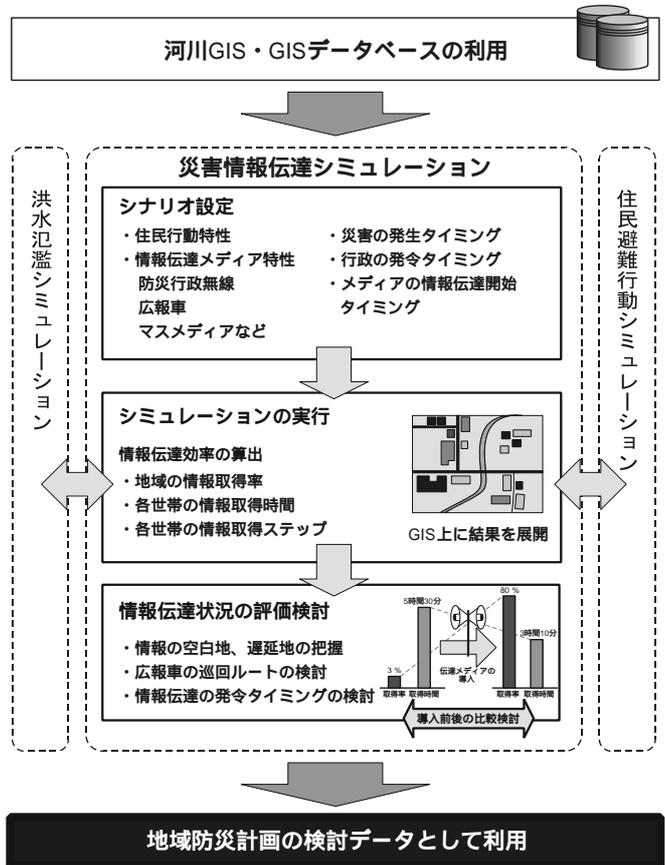


図-1 システムの流れ

り、検討を行う情報伝達シナリオをシミュレーションの入力条件として設定する。そして、災害情報伝達シミュレーションモデルは、準備された地理データとシナリオデータを取り込み、そのもとでの地域の情報伝達をシミュレートし情報伝達状況の各評価指標をGISデータとして出力する。利用者は、算出された伝達状況を検討することによって、設定したシナリオによる情報伝達効果を評価し問題点を抽出することになる。そして、これらの検討を試行的に行っていくことにより、検討地域における最適な情報伝達体制の検討とそれを反映した防災計画の策定を行うことが可能になる。

(2) GISへの導入

今回開発したシミュレーション実行システムは、シミュレーションに関連するすべての機能をGISの持つインターフェイスを使って呼び出せるように設計しており、表面上、シミュレーションがGISの機能の一部であるかのように動作する形態をとっている。また、GISの機能として、災害情報の伝達過程をシミュレートするためのシステムを構築するに当たり、以下のようなGISの特徴をシミュレーションシステムに反映している。

まず1つ目は、GISの持つ空間的な分析機能を利用して

いる。すなわち、地域の道路網を考慮した詳細な計算を行うために、GISの持つ道路網に関する地図情報とネットワーク解析機能を利用する。これにより、河川が存在し、住民が橋を渡り遠回りして伝達相手の所まで移動しなければならない場合などが計算に考慮され、地域の詳細な地形状況を反映した住民の行動を現実的に表現したシミュレーションを行うことが可能となった。さらに、地域の道路網が利用できることから、これまでのシミュレーションでは、情報伝達メディアとして表現することが困難であった広報車も扱うことが可能となり、その特性を表すパラメータとして、広報車の移動速度と搭載されている拡声器の音声到達範囲、聴取率を持たせた。

2つ目は、GISの地理データに結びついた属性データをシミュレーションの計算に反映させている。これは、GIS上の各施設に設定された属性情報を計算時に呼び出すことにより、各世帯の情報受信装置の設置状況や情報伝達メディアの特性パラメータなどを個別に表現することであり、これにより、停電などの原因により特定地域内の施設が利用できない場合や、障害者世帯に情報が伝わりにくい場合などの状況を表現することが可能となった。また、GISは地域情報の管理システムとして利用されている場合が多く、本システムにおいて、その管理システムで整備されたデータを利用することにより、常に施設や住民の最新属性を反映することが可能となる。

3つ目は、GISの表示機能を利用することで、解析結果を視覚的に表現している（図 - 2 参照）。

最後に、GISは一般に汎用的なシステムとなっているものが多く、複数のプログラムと連携して動作するための多くの利点を持っており、本シミュレーション結果に加え、浸水状況など他のシステムから得られた結果や災害弱者の有無など、考慮すべき情報をGIS上で総合的に検討することによって、より具体的な行政対応の指針を得ることができるものと考えられる。

4．災害情報伝達シナリオの検討事例

ここでは、本研究で開発したシステムを用い、具体的な情報伝達シナリオを検討する。事例として、郡山市の阿武隈川流域に位置する東西に4 km、南北に3 kmの1万2316棟の建物を含む地域を対象にシナリオ設定を行う。なお、シミュレーションの入力データとして必要となる屋外拡声器や広報車の巡回ルートなどに関する地理情報は、地域上に仮想的な配置を行った（図 - 2 参照）。また、シミュレーションのシナリオ設定として、表 - 2 のように全ての情報

表 - 2 基準シナリオの情報伝達特性パラメータ

伝達メディア	伝達特性パラメータ	
マスメディア	視聴率	30%
屋外拡声器	音声到達範囲	250m
	聴取率	30%
広報車	移動速度	20km/h
	音声到達範囲	50m
	聴取率	30%
電話伝達	輻輳率 (成功率)	80%



図 - 2 基準シナリオcase 4における情報取得時間の算出結果

伝達メディアが概ね一般的に機能する状態で、**図 - 3**のようにマスメディアの放送タイミングのみが異なる case 1 ~ 4 を基準シナリオとする。そして、各ケースごとに**表 - 3**に示すような事態を想定し、それらの状況に対応するパラメータ値を変化させ、それぞれのシナリオの下での情報伝達を検討した。なお、計算結果の安定性を図るため、シミュレーションは50回試行し、その平均を求めた。

(1) マスメディアの放送タイミングによる影響

まず、case 1 ~ 4 までの基準シナリオにおける経過時間と累積情報取得率の関係(**図 - 4**)をみると、マスメディア

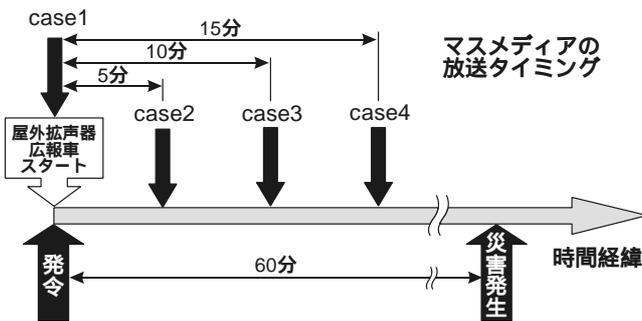


図 - 3 ケース別マスメディアの放送タイミング

表 - 3 想定シナリオとその伝達特性の変化

想定シナリオ	伝達特性パラメータの操作	
	パラメータ	設定値の変化*
時間帯や停電の影響により、マスメディアの視聴率が下がる場合	マスメディアの視聴率(%)	50、40、30、20、10
電話の輻輳が発生し、住民間の電話伝達の成功率が下がる場合	電話伝達の成功確率(%)	90、85、80、75、70
交通渋滞により、広報車の移動速度が下がる場合	広報車の移動速度(km/h)	30、25、20、15、10
豪雨などの影響で、広報車や屋外拡声器の聴取率が下がる場合	拡声器の聴取率(%)	50、40、30、20、10

※ 太字は基準シナリオを示す。

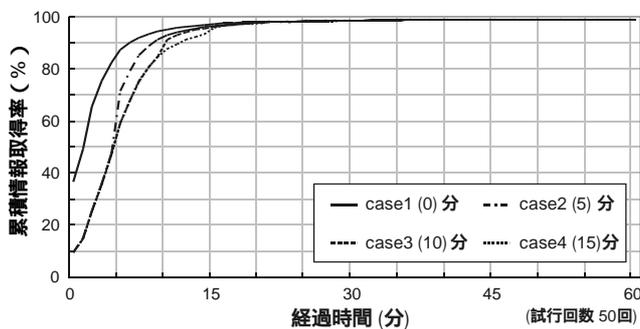


図 - 4 基準シナリオにおける累積情報取得率

の放送タイミングが10分以降であるcase 3 とcase 4 の差はあまり見られず、発令後15分を経過した後は全てのケースにおいて、累積情報取得率が同様の値を示している。しかし、発令後10分未満については、マスメディアの放送タイミングによる影響は大きく、case 1 と他のケースを比較すると、発令後 5 分を経過するまでは累積情報取得率が約 2 倍の違いとなっている。これは、津波情報に代表されるような特に緊急を要する災害情報の伝達において、マスメディアを用いた速報性が極めて重要であることを示唆している。

次に、各ケースごとに**表 - 3**に示す各想定シナリオの下での計算結果を**図 - 5**に示す。ここで、情報伝達効率の指標である平均情報取得時間等の「平均」とは、分析対象地域における世帯平均を指す。まず、情報取得率に着目すると、ケース別の違いが生じていないことから、マスメディアの放送タイミングによる影響を受けず、また、広報車を除き、各シナリオともパラメータの変化に連動して情報取得率が減じている。しかし、最初に取得した情報(初着情報)に対する平均情報取得時間やその情報の伝達回数を表す平均ステップ数についてみると、マスメディアの放送タイミングが10分以降の case 3 と case 4 では、グラフがほぼ重なっており、両者の差は少ないものの、10分未満のcase 1 とcase 2 では、放送タイミングが平均情報取得時間や平均ステップ数に影響を与えていることが分かる。このことは、マスメディアが発令後10分以内に放送された場合には、マスメディアと他のメディアが競合的に機能し、10分以降に放送された場合では、他のメディアが先行的に機能していることを表している。また、住民が避難するまでの自宅にいる間に受けた平均情報取得回数は、放送タイミングまでに避難を開始する住民が現れることによって情報の受信者数が減るため、放送タイミングが遅いケースほど少ない。

(2) シナリオ別の考察

ここでは、**表 - 3**で示した各シナリオごとの、状況変化に応じた伝達効率(**図 - 5**)について考察する。

1) マスメディアの視聴率

マスメディアの視聴率が減るほど、情報取得率や平均情報取得回数は連動して下がる傾向にある。また、平均情報取得時間や平均ステップ数は上がる傾向にあるが、放送タイミングが遅いため他のメディアが先行的に機能するcase 3、4では、その傾向は顕著ではない。

2) 電話の輻輳による影響

電話の輻輳による影響を考え、住民間の電話伝達の成功確率についてみる。電話伝達の成功確率が下がると、情報取得率や平均情報取得回数はそれに連動して下がるのに対

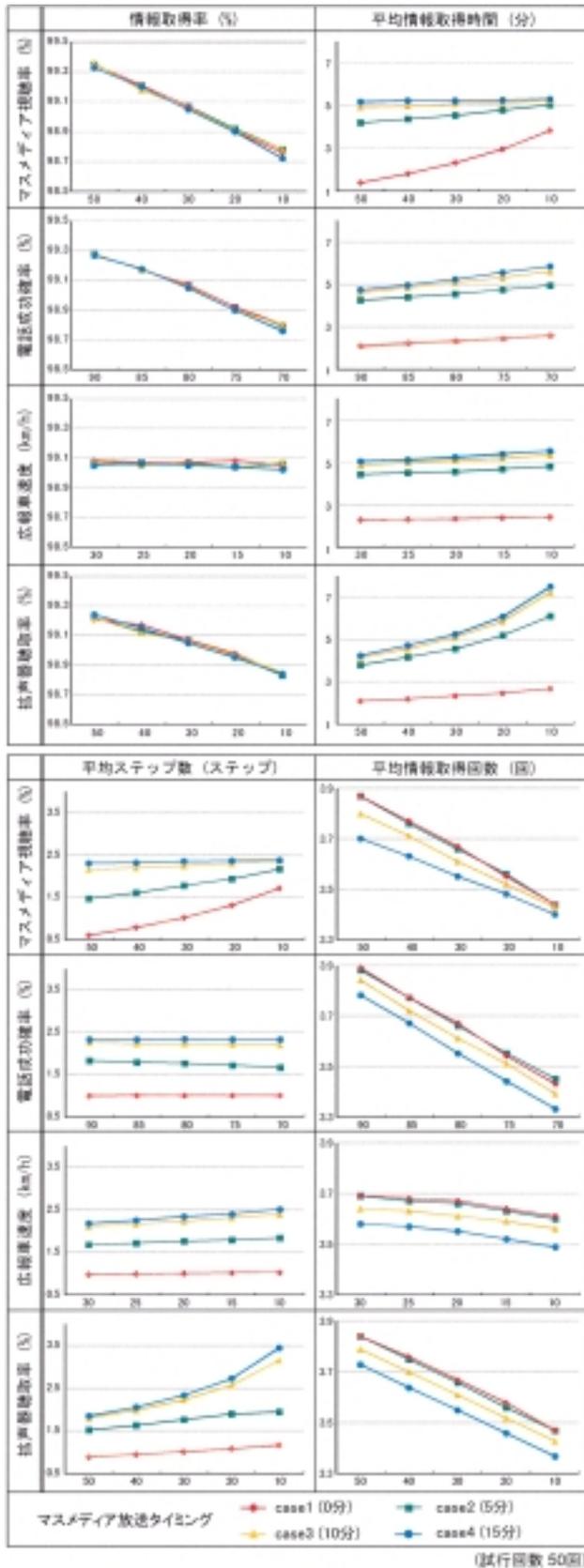


図 - 5 シナリオ別の計算結果

して、初着情報に関わる平均情報取得時間や平均ステップ数については成功確率の変化による影響がほとんど表れていない。これは、電話が、他のメディアにより伝達された初着情報の後に機能する性格を有することに起因する。

3) 渋滞による広報車の影響

広報車の移動速度については、情報伝達状況を表す全ての指標で、移動速度による影響はほとんどみられない。これは、今回の事例では広報車の台数や移動ルートが少なく、広報車から直接情報を聞き取ることができる住民の数が絶対的に少ないことが原因と考えられる。また、本事例のように、広報車以外の伝達メディアにより発令後15分程度で情報取得率が収束するような状況下で、広報車の移動時間を考慮するならば、広報車による情報伝達の速達性は期待できない。

4) 拡声器の聴取率

防災無線や広報車の拡声器について聴取率をみると、聴取率が下がると情報取得率や平均情報取得回数も連動して下がり、平均情報取得時間や平均ステップ数は上がる傾向にあることが分かる。特に、平均情報取得時間や平均ステップ数について、マスメディアの放送タイミングが遅い case 3、4 においては、その傾向が大きい。このことから、行政とマスメディアの連携ミスにより放送タイミングが遅れた場合や深夜の時間帯で視聴率が著しく低い場合も含め、マスメディアが機能しないような事態においては、拡声器による伝達が非常に重要となり、地域への情報の伝達効率は、それに大きく依存することとなる。

以上のように、本研究で開発したシステムを用いて、具体的なシナリオに対する伝達効率の検討を行い、行政とマスメディアとの連携や防災無線の重要性などが確認された。本事例では現況施設を前提条件とし、状況変化のみを想定したシナリオ設定を行っている。しかし、現実の自然災害は、不確定な要素を多分に含むことを踏まえるならば、情報伝達戦略の策定にあたっては、屋外拡声器の配置計画から、氾濫解析など他のシステムによる結果を考慮した広報車の経路選定など、基本的な地域データである情報伝達施設の検討に至るシナリオ設定が必要と考える。したがって、想定すべきシナリオ数は、本事例の数倍に及ぶものと考えられ、ここに、本システムを開発した意義が存在している。

5. おわりに

洪水時において効果的な対応を行うためには、危機管理体制の整備について事前に十分検討しておく必要がある。このためには、災害に関する一つの事象に限らず、対象地

域の社会的な状況も含め様々な要因を考慮に入れること、そして、災害時に発生すると想定される種々の事態をシミュレートすることによって、とるべき対応の検討を入念に行っておくことが非常に重要となる。

このような中、本研究で開発したGISの機能として災害情報伝達過程を扱う技術は、事例で示した様に、地域住民に対して災害情報が伝えられていく様子を地域社会の様々な状況を考慮して表現することが可能であり、災害情報の伝達戦略を検討するためのツールとして、また、地域の総合的な防災計画を立案するための重要な要素技術として、広範囲に適用することが可能である。

本研究の今後の課題は、情報伝達とともに河川氾濫や避難行動など他の事象を含めた一連の関係構造を明確にし、

一貫して扱うことができるシステムを開発することで、災害時の社会状況を総合的に検討することのできる河川GISを実現することと考えている。

参考文献

- 1) 例えば、末次、栗城：改良した氾濫モデルによる氾濫流の再現と防災への応用に関する研究、土木学会論文集 No.593/II-43、pp.41-50、1998
- 2) 例えば、石井等：災害時の避難所と避難経路の評価手法に関する研究(1)、GISデータベースの構築と避難施設配置の基礎的検討、土木学会第51回年次学術講演会概要集共通セッション、pp.320-321、1996
- 3) 片田等：災害情報伝達の実用型シナリオシミュレータの開発、土木情報システム論文集 Vol.8、pp.89-96、1999
- 4) 片田等：災害時における住民への情報伝達シミュレーションの開発、土木学会論文集 No.625/IV-44、pp.1-13、1999