

## GISを用いた避難行動の解析 —岐阜県吉城郡上宝村栃尾地区周辺を対象に—

中川 一・高橋 保・澤田豊明・石橋晃睦\*

\*日本工営(株)中央研究所

### 要 旨

避難計画を立てる場合、最適な避難地や避難経路を行政側だけでなく地域住民が周知しておくことが重要である。本研究では、GISのネットワークデータを利用した住民の避難行動の解析方法を示すとともに、実流域を対象として老人や子供歩行速度を考慮した避難行動の解析を行った避難所要時間を求めている。さらに、これに基づいて新たな避難施設を設置した場合の効果についても検討している。

キーワード：GIS、避難システム、避難行動、避難ネットワーク、歩行速度、河谷、土石流災害

### 1. 緒 言

土砂災害対策を講じる上で土砂災害危険区域を設定して要避難者に対し、土砂災害の危険性について正しい情報を提供し、適切な避難を実施することにより被害を最小限にとどめようとするいわゆるソフト対策が重要であることは論を俟たない。最近、建設省の主導のもとで、破堤氾濫時を想定した洪水ハザードマップの作成が進められており、平成8年度で20の市町村が既にその公表を終えている（河川情報センター、1997）。避難活用型ハザードマップと呼ばれているものには、洪水氾濫実績、破堤した場合の氾濫範囲と規模、避難時の心得、情報伝達経路等が示されているほか、避難地を明示し、どの地区の住民はどの避難地へ避難したらよいかを示したものもある。当初、このようなマップを公表すると浸水規模が大きい所の地価が下がるのではないかと、破堤というカストロフィックな現象が今にも起こり、大規模な洪水氾濫によって多大の被害が出るという不安感を煽りはしないかなど、公表に対して消極的な意見もあったと聞く。情報公開の趨勢にあるとはいえ、従来の方針からは180度転換した画期的なものと呼べる。公表の結果、懸念されたような混乱はなく、非常に冷静に受け止められていると言え

よう。

このマップを作成する際に避難場所として用いられているのは、基本的には既設の公立小学校や中学校、公民館などのコミュニティーセンターなどであり、これらの設置場所が地域住民にとって避難地として最適かどうかは別問題であって、これらを避難場所として利用するということが前提となっている。また、どのような避難場所、避難経路が各住民にとって最適かという情報や避難所用時間がどれくらいかといった情報が示されていないだけに、住民にとって身近な情報としては受け止めにくいという懸念も無いではない。確かに、そのような情報を1枚のマップで表現するのは困難であるし、避難経路を指定してそこで災害にまき込まれてもしたら行政側の責任にもなりかねない、等の理由も理解できる。

しかしながら、このような情報を住民にも行政側の人にも容易に理解できるような形で与えることが重要と考える。例えば、市役所や役場の待合室にコンピューターを配置し、地域の地図情報をCRT上に表示しておき、自分の家を特定できるスケールにズームをきかせ、その地点から最寄りの避難地まで自分が避難行動しているような仮想世界を構築し、そこへ到達するのに周囲の状況がどうであるか、夜間だとどのようなイメージなのか、混雑度はどの

よくなるのか、洪水や土石流などが来襲するときのイメージはどのようなものなのか、避難地までどれくらいかかるのか、ということを手仮体験できるようなシミュレーターがあれば、避難情報が非常に身近なものとなるであろう。

このようなことは夢物語ではなく、近い将来確実に実現され得ることと思われる。著者らはこれまでに洪水・高潮氾濫(高橋・中川ら, 1989, Nakagawa et al., 1996)や泥流の氾濫(Takahashi et al., 1990)を対象にした住民の避難行動のシミュレーション手法の開発を行ってきた。その際、膨大なネットワークデータの管理に多大の労力と緻密な作業を必要としてきた。このようなデータの蓄積・管理およびその利用はGISが得意とする所であり、これとシミュレーションとをカップリングして住民の避難行動の解析結果をコンピュータの画面上で地理情報とともに表示すれば、住民にも行政側にも避難状況をわかりやすい形で可視化することができる。そこで、本研究では避難行動のシミュレータ構築の第一歩として、GIS(ARC/INFO)を用いた住民の避難行動のシミュレーション手法について検討するものである。

## 2. 避難行動の解析手法

ここでは、住民の避難行動をシミュレートするために必要とされる避難ネットワークの構築方法、すなわち避難地ノード、交差点ノード、ノードとノードの間の中間点(Vertex)およびアークからなる避難ネットワークの作成手法、避難する側の情報としての家屋の配置、家族構成等の情報を用いた避難行動のモデル化、避難行動の解析にGISデータをリンクさせ、計算結果をコンピュータ画面上に表示させる方法等について検討する。

### 2.1 GISに基づく避難ネットワークの構築

従来、手作業でネットワークを構築する場合に最も注意を要した点は、アーク番号とノード番号の対応付けである。あるアークの両端のノード番号のどちらか一方が誤って入力されると、そのアークはほとんどない地点と連結したりあるいは連結しなくて避難経路がうまく求まらない、といったことが生じる。従ってデータ管理に相当な注意を払う必要があった。また、アークやノードを追加すると解析プログラムやデータの修正に多大の労力が必要となるなど、データの更新が容易ではなかった。

ところが、GIS(以下ARC/INFOを対象として述べる)ではデジタルライザの入力により自動的にノードとアークの対応がなされ、ネットワークが作成できるので、煩雑なデータ管理、データの更新が極めて

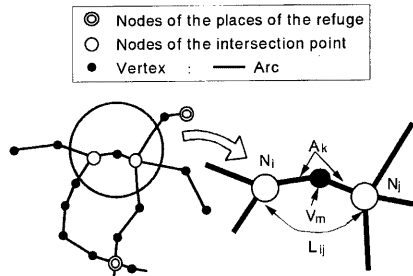


Fig. 1 Example of the nodes, vertexes, and arcs in the refuge network

Table 1 Arc attribute table

FNODE#	TNODE#	LENGTH	ARCNO
$N_i$	$N_j$	$L_{ij}$	$A_k$

容易にできる。例えば、Fig. 1に示すようなネットワークを考える。今、地形図の道路中心線に沿って交差点  $N_i$  から中間点  $V_m$  を経由して交差点  $N_j$  までデジタルライザで入力したとする。その結果Table 1のようなArc Attribute Table(AAT)が自動的に作成される。ここで、FNODE#はアークの  $A_k$  に対する front node, TNODE#は tale nodeで、基本的にはデジタルライザの入力順で自動的に決まり、修正がきかない。LENGTHはアークの長さである。ここで重要な点は、このAATがOUTPUTコマンドでアスキーファイルに変換でき、また、デジタルライザで入力した中間点やノードの(x,y)座標も UNGENERATEコマンドでアスキーファイルに変換できるため、FORTRANやC言語で記述されたプログラムでも避難行動を解析する際のデータとして利用できるだけでなく、道路、家屋、河川網といった各種のカバレッジ(データ)とともに住民の避難行動の状態をコンピュータ画面上に表示することが可能となることである。したがって、カバレッジ次第では3次元空間で避難行動を表示できる可能性も秘めているのである。

このAATのアークに対してはJOINTITEMコマンドにより道路幅、平均勾配、夜間照明の有無等の属性を持たせたり、家屋のカバレッジではPolygon Attribute Table(PAT)に対してラベル番号を付けて、家屋面積や家族構成、災害弱者の有無等を属性として持たすことができ、避難行動の解析に必要なデータがAATやPATで一元的に管理することが可能である。

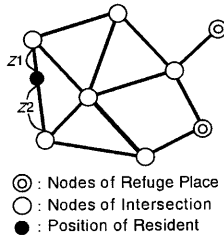


Fig. 2 Relation between the refuge network and the position of an evacuee

## 2.2 その他のカバレッジの作成

避難行動の解析に必要なネットワークカバレッジや家族構成などの住家カバレッジの他に、等高線や河川網、河川構造物、河道情報等の重要な情報や、危険箇所等の情報を表示するカバレッジも作成する必要がある。本研究では行っていないが、洪水・高潮氾濫や土石流・泥流氾濫等のシミュレーションと避難行動のシミュレーションとをリンクした解析を行う場合には、地盤標高をTINで解析してカバレッジとして有しておけば、シミュレーションに必要なデータは全てGISで管理できることになる。このことは、行政が河川流域を日常業務として維持管理していく際にも、また、水害などによる被害想定を行ったり、治水対策の効果を判断したりする際にも非常に有効であることを示唆している。

## 2.3 避難行動のシミュレーション手法

Fig. 2に示すような避難ネットワークにおいて、時刻 $t$ に避難が必要と判断された住民が、ノード $N_1$ から距離 $Z_1$ 、 $N_2$ から距離 $Z_2$ の地点に位置するものとする。このとき、住民の避難行動は以下に示す段階を経て行われるものとする。

(1) 任意のノード $N_i$ から任意の避難地ノード $N_j$ までの最短経路を $F_{i,j}$ とし、 $N_1$ と $N_2$ の各ノードから、例えば $m$ 個存在する避難地ノードまでの最短距離をそれぞれの避難地に対して求める。 $N_1$ からの最短経路に対しては $Z_1$ を、 $N_2$ からの最短経路に対しては $Z_2$ を加える。

(2) (1)で計算された各々の避難地ノードまでの距離の中で最小値 $(F_{i,j})_{\min}$ を求める。すなわち、

$$(F_{i,j})_{\min} = \min\{F_{N_1,1} + Z_1, \dots, F_{N_1,m} + Z_1, F_{N_2,1} + Z_2, \dots, F_{N_2,m} + Z_2\} \quad (1)$$

である。

(3) 時刻 $t$ において、(2)で求めた最短距離を仮に $F_{N_1,R_1} + Z_1$ 、すなわちノード $N_1$ を経由して避難

地 $R_1$ が最短経路であるとする。そこでまず、現在地からノード $N_1$ を目的地として、 $N_1$ までの所要時間 $TL$ を $Z_1$ と住民の歩行速度から求める。

(4)  $TL > T$ すなわち1回の避難行動の計算の中で住民が移動できる時間 $T$ 内に、次に行くべきノードまで到達できない場合には、 $T$ 時間分の移動を行って移動後の位置を求め、その時間ステップ $T$ での計算を終える。

$TL < T$ の場合、すなわち1回の避難行動の計算で、目的とするノードに達してしまっ、さらに時間が残っている場合には、 $N_1$ までの所要時間 $TL$ を使ってまず $N_1$ まで移動する。もし、このノードが避難地ノードであればこの住民グループは避難を完了したとし、そうでなければ $T = T - TL$ と置き換えて(1)に戻り、この残りの時間 $T$ を用いて移動を続ける。

以上の手順を繰り返すことにより、住民の避難行動の計算が可能となる。住民グループの避難行動は、ネットワーク上に配置された各家屋ノードから避難地への最短経路選択問題に定式化される。これは、任意地点のグループと任意地点の避難地という任意の2点間の最短経路、最短距離を求めることになる。これを解くには色々な方法があるが、ここではWarshall-Floyd法(伊理・古林, 1976)を用いることとする。ただし、避難地を指定する場合にもこの方法が適用できる。

## 2.4 避難歩行速度

一般に、歩行速度に影響を及ぼす要因としては次のようなものがある(消防科学総合センター, 1987)。

- 環境条件: 季節, 天候, 気温, 風向, 時刻, 歩行路面の材質と形状, 勾配, すべりやすさ, 明るさ, 煙や霧の有無, 視界
- 肉体的条件: 性別, 年齢, 身長, 体重, 健康, 疲労, 個人差
- 付帯条件: 被服, 装備, 履き物, 携帯品, 荷物の種類と重量および形状
- 集団的条件: グループの人数・種類, 群集密度, 対向者の有無, 横断者の有無

災害時の群集流動では上記のような要因が複雑に絡み合った上に、災害そのものが避難者の歩行に影響する。このような要因全てを避難行動のシミュレーションに取り入れるのは現時点では困難であるので、ここでは、疲労と群集流動による歩行速度の低下ならびに大人、子供、老人の歩行速度の違いを考慮することにする。

Fig. 3は老人の単独歩行時とグループ歩行時の歩行速度の実測値を示したものである(消防科学

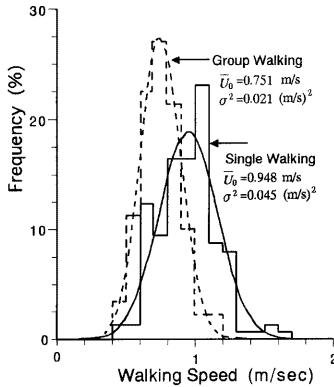


Fig. 3 Walking speed of old people in case of single walking and group one. The curves in this figure are calculated by assuming the normal distribution with the observed values of the parameters, the mean walking speed,  $\bar{U}_0$  and variance,  $\sigma^2$

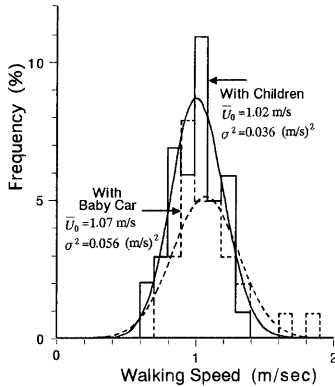


Fig. 4 Walking speed of people with baby-car and with children

総合センター, 1987)。老人の単独歩行時の平均歩行速度は0.948 m/sec, 分散は0.045 (m/sec)<sup>2</sup>であり, グループ歩行時のそれらはそれぞれ0.751 m/sec, 0.021 (m/sec)<sup>2</sup>である。図中にはそれぞれの歩行速度の平均値 $\bar{U}_0$ と分散 $\sigma^2$ を用いて表した正規分布を示している。これより, グループ歩行時には歩行速度が低下し, まとまって歩行するようになるために分散が小さくなることわかる。

Fig. 4はベビーカーを押している人の歩行速度と子供連れの人の歩行速度の実測値を示したものである(消防科学総合センター, 1987)。図中の曲線はFig. 3と同様に正規分布を示している。ベビーカー

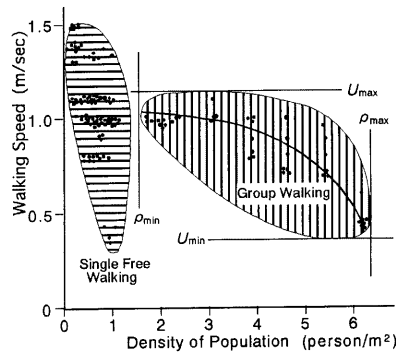


Fig. 5 Relation between the walking speed and the density of the people

を押している人の歩行速度の平均値は1.07 m/sec, 分散は0.056 (m/sec)<sup>2</sup>であり, 子供連れの場合はそれぞれ1.02 m/sec, 0.036 (m/sec)<sup>2</sup>である。

歩行速度に及ぼす影響要因の中でも最も影響の大きい要因は群集の密度であると言われている。群集密度と歩行速度の関係を, 自由歩行と群集歩行という側面からまとめた結果によると(消防科学総合センター, 1987), Fig. 5に示すように群集密度が1.5人/m<sup>2</sup>を超えると自由歩行とは言えなくなり, 群集歩行になると1.1 m/sec ~ 1.2 m/secが最大歩行速度の限界と言える。

本研究では, 西原の方法(西原, 1983)を参考にして, 以下のように群集流動による歩行速度の低下を評価する。すなわち, 時刻 $t$ における経路 $n$ 上の群集密度を $\rho_n^t$ 人/m<sup>2</sup>とすると, 歩行速度 $U_n^t$ は

$$U_n^t = \begin{cases} \bar{U}_0 - C\rho_n^t & (\rho_n^t < \rho_{max}) \\ \bar{U}_{min} & (\rho_n^t \geq \rho_{max}) \end{cases} \quad (2)$$

である。ここに,  $\bar{U}_0$ は初期歩行速度で, 大人では1.42 m/secとし, Fig. 3およびFig. 4をもとに, 老人単独(避難行動開始時点での)場合は0.948 m/sec, 老人のグループ歩行の場合は0.751 m/sec, 子供連れの場合は1.02 m/secとする。ただし, 家族の中に老人や子供が含まれている場合には歩行速度が最小となる人の歩行速度に依存すると考える。すなわち, 大人2名, 子供1名, 老人1名の家族がグループ避難する場合には老人のグループ歩行速度となり, 大人2名, 子供2名の家族が避難する場合には, 子供の歩行速度がグループの歩行速度となると考える。 $\bar{U}_{min}$ は群集流動の最遅歩行速度で, 一律に0.49 m/secとする。また,  $\rho_n^t$ は, 経路 $n$ の幅員を $B_n$ , 長さを $L_n$ , その経路上の群集の人数を $M_n^t$ とすると,  $\rho_n^t = M_n^t / (B_n L_n)$ である。また,  $C$ は歩行速度の

低下の割合を示す係数であり、 $C = (\bar{U}_0 - \bar{U}_{\min}) / \rho_{\max}$ である。なお、 $\rho_{\max}$ は許容最大群集密度で、ここでは $\rho_{\max} = 3.85$  (人/m<sup>2</sup>)とする。例えば、大人の場合には $C = (1.42 - 0.49) / 3.85 = 0.24$ となる。

歩行速度は歩行時間が長くなるとともに低下し、歩行開始から $t$ 時間経過したときの歩行速度の割引率 $T^t$ を、西原にならい(西原, 1983)以下のように設定する。

$$T^t = 1.0 / \{0.982 + \exp(1.12t - 4.0)\} \quad (3)$$

(unit of  $t$ : hour)

したがって、時刻 $t$ における経路 $n$ 上の歩行速度 $V_n^t$ は

$$V_n^t = T^t \cdot U_n^t \quad (4)$$

とおくことができよう。

### 3. 栃尾地区周辺を対象とした避難行動のシミュレーション

本章では、岐阜県吉城郡上宝村の栃尾地区周辺を対象として、土石流氾濫を対象とした避難行動のシミュレーション手法の適用を試みる。

#### 3.1 栃尾地区周辺の概要

Fig. 6に栃尾地区周辺の様子を示す。栃尾地区は町のほぼ中央を貫流する洞谷が形成した土石流扇状地上に立地する、戸数約80、人口約270人、商店や民宿がそのうちの多数を占める小さな部落である。この地区では昭和54年8月22日に洞谷で発生した土石流の氾濫で、栃尾橋付近を折から車で通りかかった旅行者3名が犠牲となるとともに、全壊家屋7戸、半壊家屋36戸、床上浸水19戸の被害が発生している。洞谷出口付近の右岸にあった栃尾小学校がこの土石流の氾濫で被害を受けたため、現在では図の位置に移動しており、ここが災害時の避難施設として設定されている。旧栃尾小学校は現在栃尾教育会館、栃尾温泉組合事務所として利用されている。

柏当(かしわで)地区および村上地区は蒲田川をはさんで栃尾地区の対岸に立地し、前者は今見橋によって、後者は宝橋によって栃尾地区と接続している。柏当地区では17戸42人、村上地区では25戸118人を避難対象とした。平成7年現在の住民台帳をもとにした各地区別毎の世帯数と大人、子供、老人の構成をTable 2に示す。同表より村上、柏当地区とも老人が約50%を占め、全体でも20%強が老人で、1世帯当たりの子供の数も0.64人と少なく、高齢化が進んでいる地域と言えよう。それだけに、老人に対して優しい避難計画が必要となつてこよう。

昭和54年の土石流災害の後、巨額が投じられて洞谷の流路工は改修され、同様の規模の土石流が発

Table 2 Number of households and the personnel organization in each district

District	Tochio	Murakami	Kashiwade	Total	
Number of household	79	25	17	121	
Constitution	Adult	61	25	257	
	Child	49	22	6	77
	Old	52	35	11	98
	Total	272	118	42	432

生してもこれを安全に流下させることができると考えられている。しかしながら、これを上回る規模の土石流が発生した場合には、洞谷に架かる「ほらたに橋」が不通となり、洞谷左岸地区は栃尾小学校への道が閉ざされてしまう事態も生じ得ることを認識しておく必要がある。また、村上地区の避難場所である観光会館は蒲田川と平湯川に挟まれた標高の低い谷底平野にあり、柏当地区の避難場所である栃尾中学校も両河川の合流部付近の谷底平野に立地し、豪雨時には洪水で氾濫する危険性も有している。また、栃尾小学校も山際に立地しており斜面崩壊や土石流の危険性も有している。このように、この地域の避難地全てが洪水や土石流の危険性を常に孕んでいるとも考えられる。したがってこの地域の避難地の特性として、洪水にあって一部が冠水しても全体が冠水しないような避難地であり、また、土石流や斜面崩壊にあって避難地の一部に土砂が進入しても破壊されないような避難地、すなわち避難施設内の一部は安全であると認識しておく必要がある。

#### 3.2 GISによる避難ネットワーク

昭和56年現在の2,500分の1の地形図をもとに、道路ネットワークカバレッジ、家屋カバレッジ等をディジタイザーで入力、作成した。栃尾地区周辺の避難ネットワークの一部をFig. 7に示す。避難ネットワークの構成は、ノード数が490個、避難所帯数が121戸、アーク数が512である。各家屋には、家屋の直前と最寄りの道路にノードを設けてアークを作成し、住民はこのアークを利用してまず道路ネットワーク上に移動し、そこから避難地まで移動するようにした。

都市域での避難ネットワークを構築する際には、1軒1軒の住家にノードを配置することはコンピューターの記憶容量から見て困難なため、このような場合には市街地の1区画に1個程度のノードを設ける等の工夫が必要となる。

#### 3.3 避難行動の計算条件

計算ケースをTable 3に示す。CASE 1,2,5,6は最寄

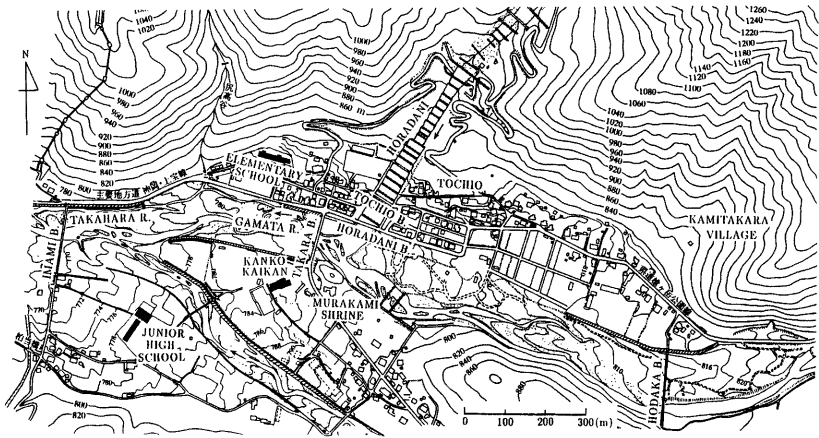


Fig. 6 Map of Tochio district and its outskirts

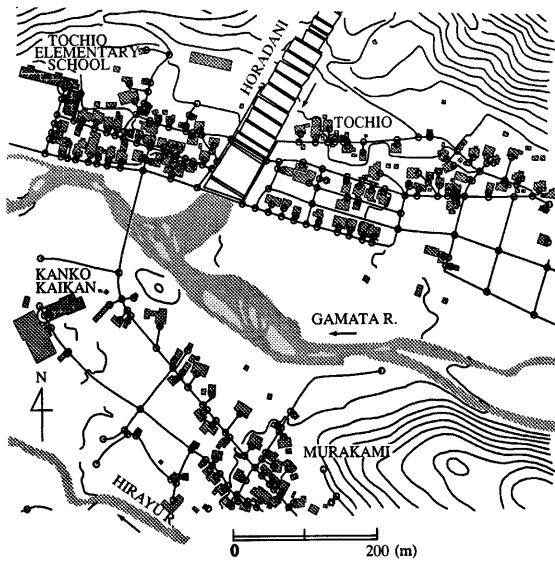


Fig. 7 Refuge network in Tochio district and its outskirts

りの避難地へ移動する場合であり、CASE 3,4は観光会館および栃尾中学校が洪水氾濫で避難地として不適当となり、栃尾小学校のみが避難地となった場合である。また、CASE 1,3,5は家族全員が大人の歩行速度(初期歩行速度 $\bar{U}_0 = 1.42\text{m/sec}$ )で歩行する場合であり、CASE 2,4,6は、家族構成員が大人のみの場合は初期歩行速度 $\bar{U}_0 = 1.42\text{m/sec}$ 、大人と子供の場合は初期歩行速度 $\bar{U}_0 = 1.02\text{m/sec}$ 、大人と老人の場

合、老人のみの場合、大人と子供と老人の場合、および老人と子供の場合は最速歩行速度である老人の歩行速度(グループ歩行)に依存するとして初期歩行速度 $\bar{U}_0 = 0.75\text{m/sec}$ とした場合である。CASE 5およびCASE 6では避難施設として地域防災計画で指定されている栃尾小学校、観光会館および栃尾中学校の3つ以外に洞谷左岸にもう一つ避難地を設けた場合である。

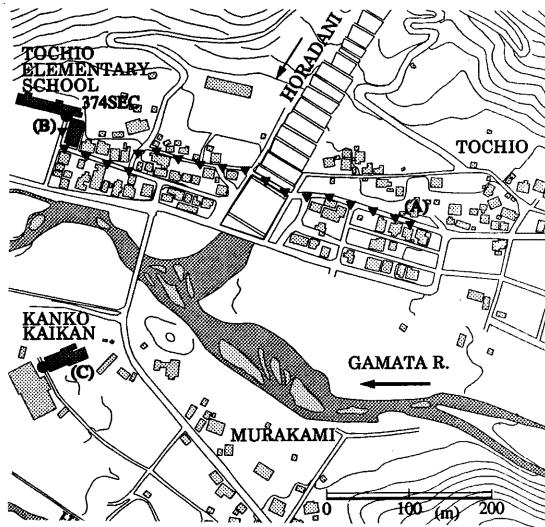


Fig. 8 An example of the calculated result of the state of evacuation

Table 3 Condition of calculation

CASE No.	Condition of Evacuation	District	Mean Time <sup>1</sup> (sec)	Max Time <sup>2</sup> (sec)
1	Walking Speed:	Tochio	378	839
	Adult	Murakami	292	426
	Selection of Refuge Place:	Kashiwade	277	515
	The Nearest Refuge Place	Whole	346	839
2	Walking Speed:	Tochio	548	1588
	Adult, Old People, Children	Murakami	473	805
	Selection of Refuge Place:	Kashiwade	434	767
	Same in CASE 1	Whole	516	1588
3	Walking Speed:	Tochio	378	839
	Same in CASE 1	Murakami	493	644
	Selection of Refuge Place:	Kashiwade	711	837
	Tochio Elementary School	Whole	449	839
4	Walking Speed:	Tochio	548	1588
	Same in CASE 2	Murakami	795	1216
	Selection of Refuge Place:	Kashiwade	1113	1585
	Same in CASE 3	Whole	678	1588
5	Walking Speed: (CASE 1)	Tochio	146	395
	Selection of Refuge Place:	Murakami	292	426
	Same in CASE 1	Kashiwade	277	515
	Add One More Refuge Place	Whole	193	515
6	Walking Speed: (CASE 2)	Tochio	209	747
	Selection of Refuge Place:	Murakami	473	805
	Same in CASE 1	Kashiwade	434	767
	Add One More Refuge Place	Whole	295	767

Mean Time<sup>1</sup> : Mean Time Required for Evacuation

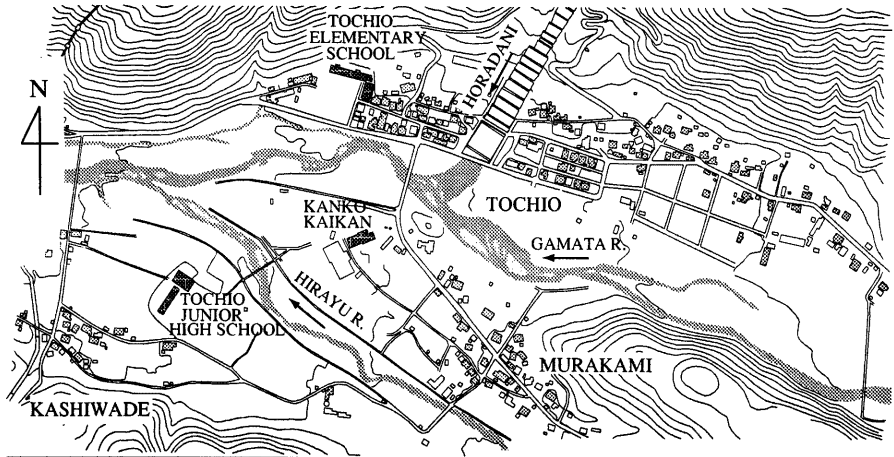
Max Time<sup>2</sup> : Maximum Time Required for Evacuation

避難行動は一斉に開始されるとし、疲労と群集流動による歩行速度の低下を考慮したシミュレーションを行う。

### 3.4 避難行動の計算結果

どのような避難経路が避難地までの最短経路か、避難地までの所要時間はどのくらいかを地域住民が普段から周知しておくことは重要である。その際、

どのようにしてこのような情報を表現すればよいか問題となる。ここではコンピュータのCRT画面上に避難地までの最短避難経路と所要時間を表示することを考えた。Fig. 8は栃尾地区の(A)地点の住民が最寄りの避難地まで移動する際の20秒毎の位置を▼で順次表示していき、避難地●まで到達すれば避難所用時間(374sec)がCRT上に表示されるシステムの最終画面を出力した結果である。このようなGISとコンピュータを用いたグラフィックな表現は、河川管理者や一般住民が避難行動や避難システムを理解する上で有効な手段であると考えられる。Table 3には各地区における避難行動のシミュレーションから求めた、平均避難所用時間と避難所用時間の最大値を各CASE毎にまとめている。また、Fig. 9はCASE 1～CASE 6における避難所用時間の分布を見たものである。これらの図や表から次のようなことが見て取れる。すなわち、最寄りの避難地を選んだ場合には避難者全員が大人の歩行速度としたCASE 1では洞谷左岸の栃尾地区で避難に10～15分要する場所があるがそれ以外は10分以内で最寄りの避難地に避難できている。一方、老人や子供の歩行速度を考慮した場合には同地域で25～30分程度かかることがわかる。村上、拍当両地区では最大10～15分程度かかることになり、歩行速度の影響が大きいことが分かる。避難地を栃尾小学校のみとした場合、CASE 3の大人の歩行速度とした場合



**CASE 1**

Time Required for Evacuation (sec)

■ : Refuge Place

0 ~ 300

300 ~ 600

600 ~ 900

900 ~ 1200

1200 ~ 1500

1500 ~ 1800

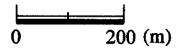
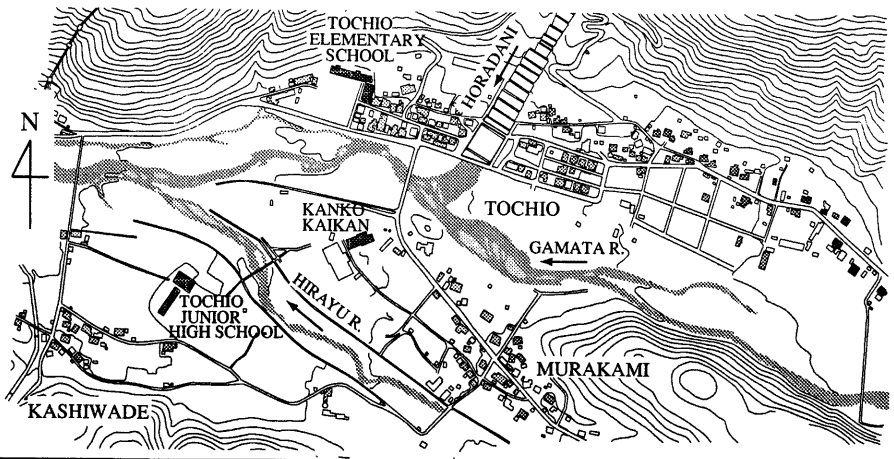


Fig. 9 Distribution of the time required for evacuation (CASE 1)



**CASE 2**

Time Required for Evacuation (sec)

■ : Refuge Place

0 ~ 300

300 ~ 600

600 ~ 900

900 ~ 1200

1200 ~ 1500

1500 ~ 1800

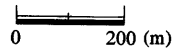


Fig. 10 Distribution of the time required for evacuation (CASE 2)

には10分以上かかる所が現れ、CASE 4の老人や子供の歩行速度を考慮した場合には両地区で20分以上かかる所が出ている。栃尾地区左岸に新たに避難地を設けた場合には、CASE 2とCASE 6を比較す

るとよく分かるように、栃尾地区左岸で15分程度所要時間を短縮できていることが分かる。



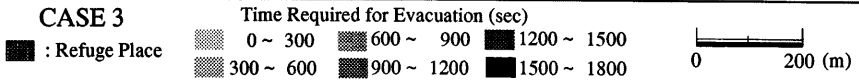
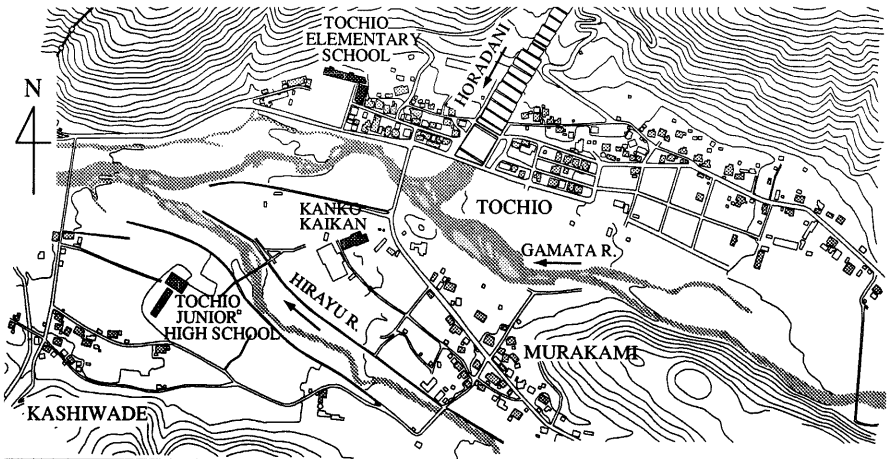


Fig. 11 Distribution of the time required for evacuation (CASE 3)

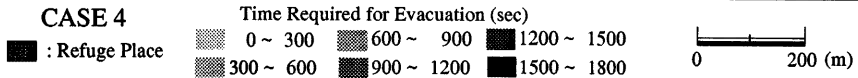
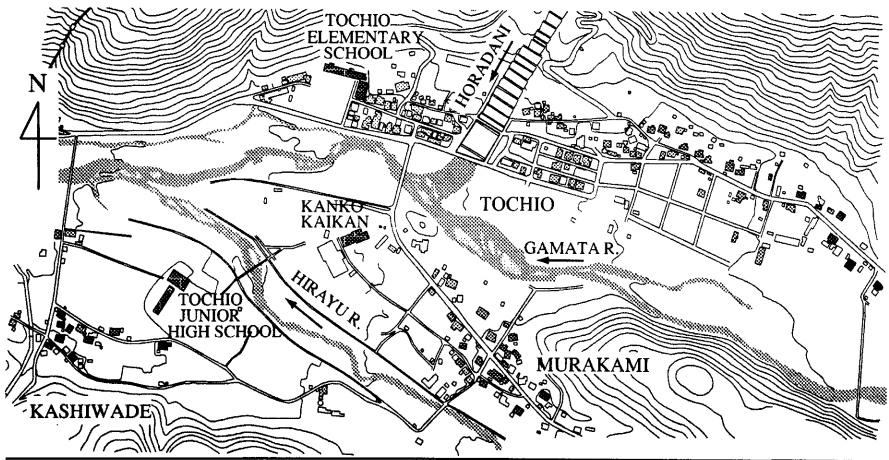
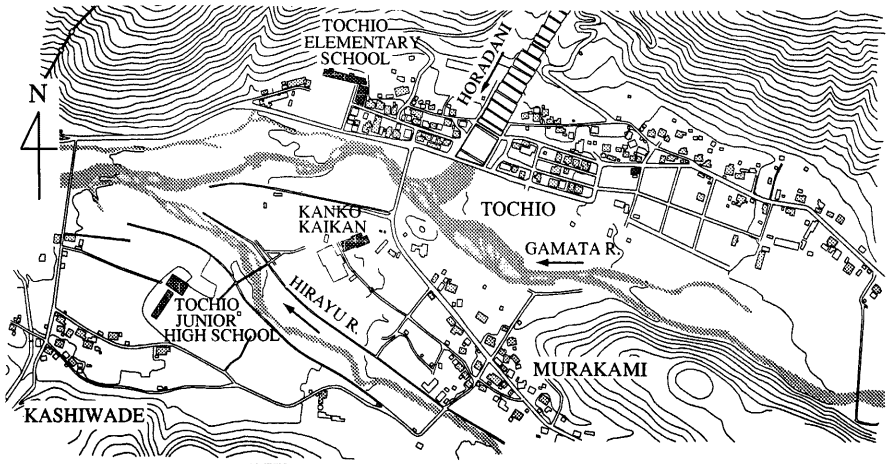


Fig. 12 Distribution of the time required for evacuation (CASE 4)

#### 4. 結 語

本研究では、GIS データを利用した住民の避難行動のシミュレーション手法とこれを実流域に適用した例を示した。GIS は種々のデータを一元的に管理

し、かつ更新も容易であり、種々のシミュレーションとリンクさせれば、流域管理や危機管理、災害時の対応、応急・復旧活動等に役立ち得るソフト開発が可能となる。本研究はその中の避難計画という一面



**CASE 5**

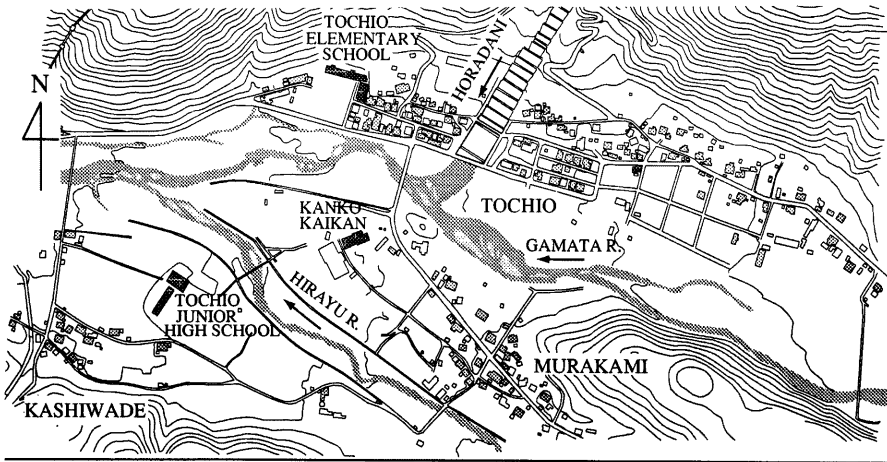
Time Required for Evacuation (sec)

■ : Refuge Place

0 ~ 300    600 ~ 900    1200 ~ 1500  
 300 ~ 600    900 ~ 1200    1500 ~ 1800

0 200 (m)

Fig. 13 Distribution of the time required for evacuation (CASE 5)



**CASE 6**

Time Required for Evacuation (sec)

■ : Refuge Place

0 ~ 300    600 ~ 900    1200 ~ 1500  
 300 ~ 600    900 ~ 1200    1500 ~ 1800

0 200 (m)

Fig. 14 Distribution of the time required for evacuation (CASE 6)

を捉えただけであるが、著者らがこれまでに同様の解析を行ってデータの管理、解析結果の表示等に費やした多大の労力は明らかに軽減された。また、解析結果の表示においても、GISデータが有効に利用

でき、行政だけでなく一般市民にもわかりやすい表現が可能であることがわかった。

避難行動の解析においては、災害が発生して避難を要すると判断するまでの認知期間、避難準備の期

間、避難行動を開始しようとするまでの意志決定期間等の付加的な時間をどのように評価し、組み込めばよいか、坂道、天候、昼夜の別などの違いによる歩行速度の変化や、歩行に伴う疲労が大人、老人、子供でどのように違うか等、歩行速度の変化・低下のモデル化も、実例やモデル実験をもとに構築していく必要がある。また、現実的な問題として車による避難の可能性についても検討する必要がある。

#### 謝 辞

本研究を進めるに当たり、GIS(ARC/INFO)の利用方法についてご指導、ご助言を賜った京都大学防災研究所の田中 聡先生に心より感謝いたします。また、(財)砂防・地すべり技術センターから多額の研究助成金を頂いた。記して深謝いたします。なお、本研究は鳥取大学地域共同センターおよび日本工営(株)中央研究所と共同して進めている。関係各位に深謝する。

#### 参考文献

伊理正夫・古林 隆(1976):ネットワーク理論, ORライブラリー12, 日科技連, pp.47-52.

河川情報センター(1997):洪水ハザードマップ作成要領解説と運用, 建設省河川局治水課監修, pp.1-178.

消防科学総合センター(1987):地域防災データ総覧 地域避難編, pp.91-96.

高橋 保・中川 一・東山 基(1989):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, 京都大学防災研究所年報, 第32号B-2, pp.757-780.

西原 巧(1983):氾濫解析に基づく避難システムの河川工学的研究, 京都大学学位論文, pp.166-177.

Takahashi, T., Nakagawa, H., Higashiyama, M. and Sawa, H. (1990): Assessment of evacuation systems for water or mud floods: a combined simulation of flooding and the action of residents, Jour. of Natural Disaster Science, Vol.12, No.2, pp.37-62.

Nakagawa, H., Kawata, Y., Inoue, K. and Tanino T. (1996): Flooding in Sandwip Island in the 1991 storm surge disaster, Jour. of Japan Society for Natural Disaster Science (自然災害科学), Vol.15, No.2, pp.151-174.

### Simulation Method of Action of Evacuation by Means of GIS

—Application to Tochio District and Its Outskirts, Kamitakara village, Gifu Prefecture—

Hajime NAKAGAWA, Tamotsu TAKAHASHI, Toyooki SAWADA and Akichika ISHIBASHI\*

\* NIPPON KOEI CO., LTD., Research and Development Center

#### Synopsis

Non-structural countermeasures, such as residents living in the hazard area taking refuge before the onslaught of a debris flow, is effective for saving lives. A simulation method for evacuation is presented that is based on a refuge network, built using the GIS (Geographic Information Systems, ARC/INFO).

Visual display of the act of evacuation is very useful for both the administrators and residents of the basin.

*Keywords* :Geographic Information System, evacuation system, action of evacuation, refuge network, walking speed, Horudani, debris flow disaster