

## 賀茂川親水域の豪雨による危険性について

戸田圭一・井上和也・徳永智宏\*・川池健司\*\*

\* 京都大学大学院 工学研究科

\*\* 長崎大学工学部

### 要 旨

本報は、ハイカーやキャンパーの思わぬ水難事故防止のため、河川親水域が短時間豪雨によっていかに危険な状況になり得るかを、流出解析、氾濫解析といった水理解析手法を駆使することにより明らかにするものである。京都の北山に位置する賀茂川流域の親水域を対象として近年に観測された短時間豪雨の条件下で解析したところ、中流部の終野公園周辺の親水域では浸水深や流速がきわめて短時間のうちに上昇することが確認された。また上流のキャンプ場や親水域でも、流速が比較的短時間のうちに大きく変化し、危険な状態となることが明らかとなった。また、危険度評価図を用いた上流域の親水域間の危険度の比較もあわせて実施している。

**キーワード：** 賀茂川，親水域，流出解析，氾濫解析，豪雨，危険度評価図

### 1. はじめに

川べりにひらけた親水空間はキャンプ、バーベキューや水遊びを楽しめる絶好のアメニティ空間である。また、ハイキングや山歩きも昔から人気のある野外活動であるが、それらのルートにも川沿いの沢歩きのコースが組み込まれているものがある。このようなリクリエーションの場としての河川沿いの空間は、昨今のアウトドアブームの高まりのなか、その付加価値を高めているが、その一方で1999年8月の神奈川県玄倉川でのキャンパーの水難事故や2000年8月の群馬県谷川岳湯檜曾川での鉄砲水によるハイカーの水難事故に見られるように、一瞬のうちに危険な場所に豹変する可能性も秘めている。このような状況のなか、河川域での水難事故を防止するため、2000年10月には建設省（現国土交通省）河川局から「恐さを知って川と親しむために」（2000）との提言が答申された。この提言を受けて全国の河川で様々な取り組みが進められており、最近の活動内容

は佐藤（2001）によって、

- (1) 河川利用者を対象とした情報提供の充実、
  - (2) 学校教育や社会教育における安全意識の啓発、
  - (3) 流域における関係機関の連携の充実、
  - (4) 緊急時を想定した体制等の構築、
- に分類して紹介されている。

このような水難事故防止の活動が当を得たものであるのは言うまでもないが、実際の豪雨時に河川親水域の水深や流速がどのように変化するのか、豪雨の規模と流況の変化とはどのような関係にあるのか、といった河川の水理・水文事象をできるだけ定量的にきちんと把握しておくことも、上で紹介された活動を考えるにあたっての基礎的情報としてきわめて重要であると考えられよう。

本報は、河川親水域が短時間豪雨によっていかに危険な状況になり得るかを kinematic wave 法による流出解析や平面2次元の氾濫解析を駆使することにより明らかにするものである。京都の賀茂川流域を対象として、観測された近年の短時間豪雨の条件下

で、流域の上、中流域にある親水域の水深や流速がどれほど短い時間で急激に変化するかを調べることにより、各地点の危険度を論じている。また上流域の親水域を対象として、降雨強度と、ある一定の流速に至るまでに要する時間との関係を表す危険度評価図を作成し、それを基に地点間の危険度の比較も行っている。

## 2. 解析対象域と解析手法

### 2.1 解析対象域

対象領域は、Fig.1に示す京都北山の賀茂川流域の柘野堰堤より上流の領域で、その面積は約63.9km<sup>2</sup>である。ここは名所旧跡が多数存在する風光明媚な地であることから、観光客、ハイカーに親しまれている。鞍馬川沿いには鞍馬寺、由岐神社があり、鞍馬寺仁王門前から鞍馬街道を川沿いに北へ行けば鞍馬温泉に至る。貴船川沿いには貴船神社があり、その周辺には料理旅館が軒を連ねている。夏になると、貴船川べりには床を出す店もある。また、静原川沿いには静原キャンプ場、賀茂川沿いには蜷谷キャンプ場といったキャンプ場も整備されている。その他、

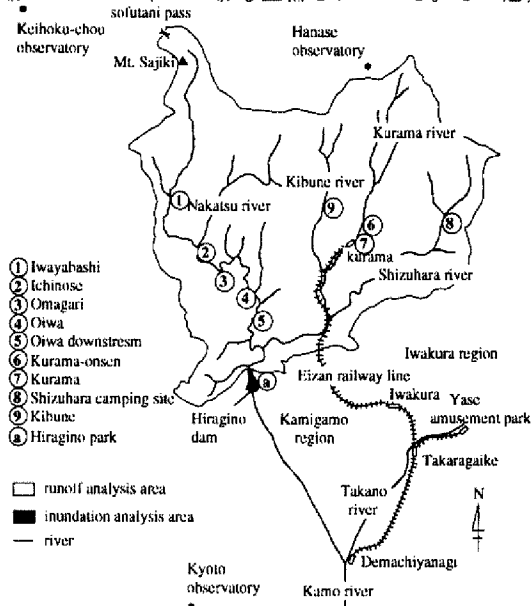


Fig.1 Kamo river basin and recreation site

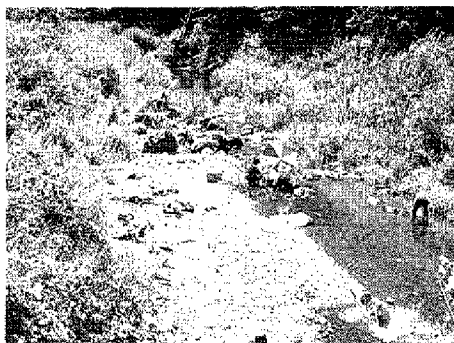


Photo 1 Oiwa site

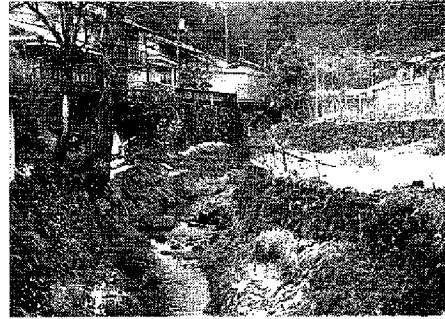


Photo 2 Kurama site



Photo 3 Shizuhara camping site

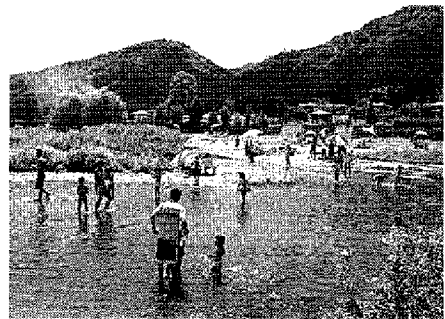


Photo 4 Hiragino park site

流域の魅力は多くの本(例えば、京都新聞社編(1980))のなかで紹介されている。

2001年夏以降現地を何度か訪ね、(i)キャンプ場あるいはその周辺、(ii)水遊びに利用されている空間、(iii)名所旧跡周辺の河川空間、および(vi)ハイカーから一般市民が近づきやすい河川空間、を調査してまわった。その結果、解析対象地点として、Fig.1に示す①~⑨および⑩の各地点を選定した。④大岩、⑦鞍馬、⑧静原キャンプ場、⑩柘野公園周辺部の写真をPhoto 1~Photo 4に示す。各地点の特徴は以下のとおりである。

- ①岩屋橋：賀茂川沿い、分類(vi),
- ②一ノ瀬：賀茂川沿い、分類(ii),
- ③おおまがり：賀茂川沿い、分類(ii),
- ④大岩：賀茂川沿い、分類(ii),
- ⑤大岩下流：賀茂川沿い、分類(ii),
- ⑥鞍馬温泉：鞍馬川沿い、分類(iv),
- ⑦鞍馬：鞍馬川沿い、分類(iii),

- ⑧ 静原キャンプ場：静原川沿い，分類 (i)，
  - ⑨ 貴船：貴船川沿い，分類 (iii)，
  - ⑩ 栂野公園周辺部：賀茂川中流部，分類 (iv)。
- 栂野公園は栂野堰堤の直上流左岸に位置する公園でグラウンドなどが整備されている。また対岸の右岸側は親水性が高い河川敷の空間が広がっている。

なお賀茂川沿いの③おおまがりと④大岩の中間地点に蛭谷キャンプ場があるが，③，④両地点から至近距離にあり，また豪雨時に水かさが急上昇したときには③，④地点の両岸には山が迫っており逃げ場がなく，キャンプ場よりも一層危険な状況になると予想される。よって蛭谷キャンプ場地点は，今回の解析地点には含めないこととした。

## 2.2 解析手法

### (1) 概説

河川親水域での水難事故に結びつく最も危険な状況の一つは，流域内に降る短時間豪雨により急激に河川の水かさが増大し，中州や河川敷およびその周辺が浸水したり，河川内の水流が速くなる場合である。本報では上に述べたような現象を解析の対象とする。

Fig.1の上流域に位置する①～④地点では，親水域は河道内あるいは川べりであり，河道幅も比較的狭く，1次元の流れ場とみなすことができる。したがって，kinematic wave法に基づく流出解析の下流端を対象地点に設定し，1次元の流出解析結果を基に，流速，水深の時間変化を把握した。一方，⑩の栂野公園周辺部は2次元的な拡がりをもつ水辺空間であり，戸田ら(2002)の方法と同様，公園上流端地点の流出流量を境界条件として一般曲線座標を用いた平面2次元氾濫解析を実施し，親水空間の水深，流速の時間変化を考察した。対象域とそこでの解析手法をFig.2に示す。

降雨は，京都地方気象台で公開されている，京都地方気象台，京北町，花背のアメダスの10分間雨量を用いた。そして各観測点の降雨をFig.3に示す3領域 (I: 京都地方気象台，II: 京北町，III: 花背) に分割して与えた。

### (2) 山地部の流出解析 (上流親水域の危険度解析)

山地部の流出解析は，斜面上の雨水流 (斜面流) とそれらを集めて流下する河道の流れ (河道流) から成り立つものと考えた。本報では kinematic wave法を用いており，その基礎式は以下のとおりである。

<斜面流>

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_s}{\partial x} = r_e \quad (1)$$

$$q_s = \alpha h^m \quad (2)$$

ここに， $h$ は水深， $q_s$ は斜面の単位幅流量， $r_e$ は有

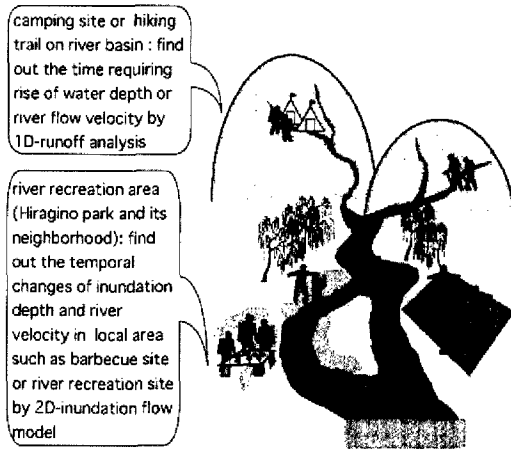


Fig.2 Analysis method

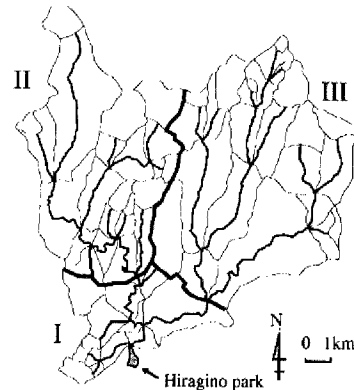


Fig.3 Division of river basin

効降雨 ( $r_e = f \cdot r$ ， $f$ は流出率， $r$ は降雨)， $\alpha, m$ は定数であり，斜面こう配  $\theta_s$  と Manning 則の式形を用いると， $m=5/3$ ， $\alpha = \sqrt{\sin \theta_s} / N$ ， $N$ は等価粗度である。

<河道流>

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = \frac{q_s}{B} \quad (3)$$

$$q = \alpha h^m \quad (4)$$

ここに， $h$ は水深， $q$ は河道の単位幅流量， $q_s$ は斜面からの単位長さあたりの横流入流量， $B$ は河道幅である。また河床こう配を  $\theta$  とし，Manning 則を用いると， $m=5/3$ ， $\alpha = \sqrt{\sin \theta} / n$ ， $n$ は Manning の粗度係数である。河道断面は長方形近似を行っているが，河道幅の縦断方向の変化は考慮している。

対象領域を Fig.3 に示すような斜面と河道に分割した。斜面の総数は 104 個，河道断面の総数は 3084 個である。解法は川池ら (2000) にならい，斜面流については特性曲線法により河道への横流入流量を計算し，河道流については，Leap-frog 法に基づく差分法で流出流量を算出した。なお本報では初期損失は考慮していない。

### (3) 2次元的な拡がりの親水域の氾濫解析

平面2次元の氾濫解析の基礎式である浅水方程式をデカルト座標系で表現すると以下のようなになる。

<連続式>

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M^x}{\partial x} + \frac{\partial M^y}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

<運動量式>

(x方向)

$$\begin{aligned} \frac{\partial M^x}{\partial t} + \frac{\partial(u^x M^x)}{\partial x} + \frac{\partial(u^y M^x)}{\partial y} \\ = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 u^x \sqrt{(u^x)^2 + (u^y)^2}}{h^{1/3}} \end{aligned} \quad (6)$$

(y方向)

$$\begin{aligned} \frac{\partial M^y}{\partial t} + \frac{\partial(u^x M^y)}{\partial x} + \frac{\partial(u^y M^y)}{\partial y} \\ = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2 u^y \sqrt{(u^x)^2 + (u^y)^2}}{h^{1/3}} \end{aligned} \quad (7)$$

ここに、 $t$ は時間、 $x, y$ はデカルト座標系の座標、 $h$ は水深、 $u^x, u^y$ は $x, y$ 方向の流速、 $M^x, M^y$ は $x, y$ 方向の流量フラックス ( $M^x = u^x h, M^y = u^y h$ )、 $H$ は水位、 $g$ は重力加速度、 $n$ はManningの粗度係数である。

本報では、戸田ら (2002) にしたがって、河岸沿いに広がる河川親水域の微地形を取り込むことを念頭において、河岸線を基準に座標軸を設定できる一般曲線座標を用いることとする。一般曲線座標系の基礎式は、デカルト座標系の基礎方程式を物理平面 ( $x, y$ ) 系から計算平面 ( $\xi, \eta$ ) 系に変換することにより以下のように導かれる。

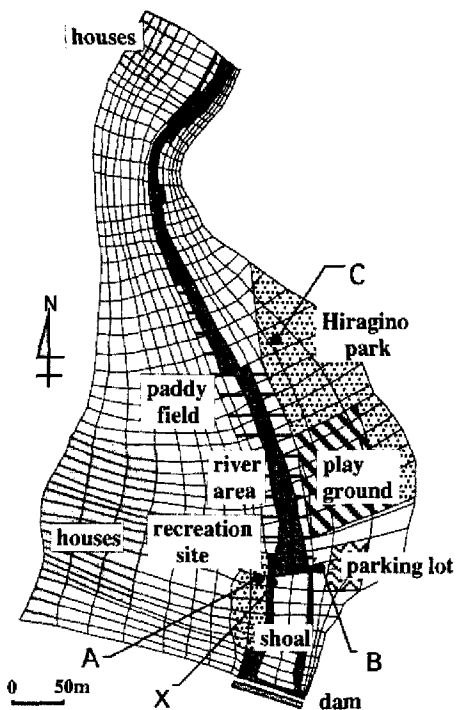


Fig.4 Hiragino park area

<連続式>

$$\frac{\partial h}{\partial t} + J \frac{\partial}{\partial \xi} \left( \frac{M^\xi}{J} \right) + J \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \frac{M^\eta}{J} \right) = 0 \quad (8)$$

<運動量式>

( $\xi$ 方向)

$$\begin{aligned} \frac{\partial M^\xi}{\partial t} = & -J^2 y_\eta \left\{ \frac{\partial}{\partial \xi} \left( \frac{u^\xi M^x}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \frac{u^\eta M^x}{J} \right) \right\} \\ & + J^2 x_\eta \left\{ \frac{\partial}{\partial \xi} \left( \frac{u^\xi M^y}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \frac{u^\eta M^y}{J} \right) \right\} \\ & - J^2 gh \left\{ (x_\eta^2 + y_\eta^2) \frac{\partial H}{\partial \xi} \right. \\ & \quad \left. - (x_\xi x_\eta + y_\xi y_\eta) \frac{\partial H}{\partial \eta} \right\} \\ & - \frac{gn^2 M^\xi \sqrt{(M^x)^2 + (M^y)^2}}{h^{7/3}} \end{aligned} \quad (9)$$

( $\eta$ 方向)

$$\begin{aligned} \frac{\partial M^\eta}{\partial t} = & J^2 y_\xi \left\{ \frac{\partial}{\partial \xi} \left( \frac{u^\xi M^x}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \frac{u^\eta M^x}{J} \right) \right\} \\ & - J^2 x_\xi \left\{ \frac{\partial}{\partial \xi} \left( \frac{u^\xi M^y}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \frac{u^\eta M^y}{J} \right) \right\} \\ & - J^2 gh \left\{ -(x_\xi x_\eta + y_\xi y_\eta) \frac{\partial H}{\partial \xi} \right. \\ & \quad \left. + (x_\xi^2 + y_\xi^2) \frac{\partial H}{\partial \eta} \right\} \\ & - \frac{gn^2 M^\eta \sqrt{(M^x)^2 + (M^y)^2}}{h^{7/3}} \end{aligned} \quad (10)$$

ここに、 $J$ はヤコビアンであり、以下のように定義される。

$$J = \frac{1}{x_\xi y_\eta - x_\eta y_\xi} \quad (11)$$

なお、 $\xi, \eta$ の上付き添字はベクトル量の方角を表す。また、 $\xi, \eta$ の下付き添字は、それらの変数による偏微分を表す。解析法の詳細は川池ら (2002) を参照されたい。実際の計算においては、河川の流量が増加するにつれて水の存在しない領域に氾濫水が浸入していく現象を取り扱うことになり、氾濫水の先端の処理が問題になるが、その扱いは井上ら (1998) の方法に準じることとする。

解析対象域は Fig.4 に示すような、賀茂川の山地からの出口を上流端とし、下流端は終野堰堤、左右岸は河川敷よりも十分地盤の高くなった道路または水田を境界とした領域であり、その面積は約 0.14km<sup>2</sup> である。Fig.4 には氾濫解析に用いた解析格子もあわせて示す。

### 3. 賀茂川親水域の危険度解析

#### 3.1 計算条件

流出解析の計算条件は以下のとおりである。表面流出のみをとりあげ、有効降雨を求めるための流出

率  $f$  は過去の出水解析結果（京都府，1976）を参考に  $f=0.7$  とした。また初期損失はここでは考慮しないこととした。河道断面の間隔は  $\Delta x=20m$ ，計算時間ステップは  $\Delta t=0.5s$ ，河道の粗度係数は  $n=0.02$  を用いた。なお等価粗度  $N$  の値については次節で詳述する。

終野公園周辺部の氾濫解析では，上流端境界条件として，流出解析で得られるハイドログラフを与えた。ただしその流量は断面全体の流量であるため，氾濫解析の格子には地盤の低い格子から順に流量を分割して与えた。その際に各格子の受け持つ流量は，格子の底面積に比例配分させた。下流端では，堰堤高7mの終野堰堤の存在を考慮して段落ち式を用いて氾濫水を流下させた。氾濫解析のManningの粗度係数は  $n=0.03$ ，計算時間ステップは  $\Delta t=0.01s$  とした。

また流出解析，氾濫解析とも，河道には，はじめ流れが存在しないものとした。

### 3.2 1999年6月の降雨条件での解析（ $N$ の決定）

流出率および河道，氾濫原の粗度係数は，過去の資料や現地調査などを基に決定したが，等価粗度  $N$  の値は不明であった。等価粗度により流出解析結果

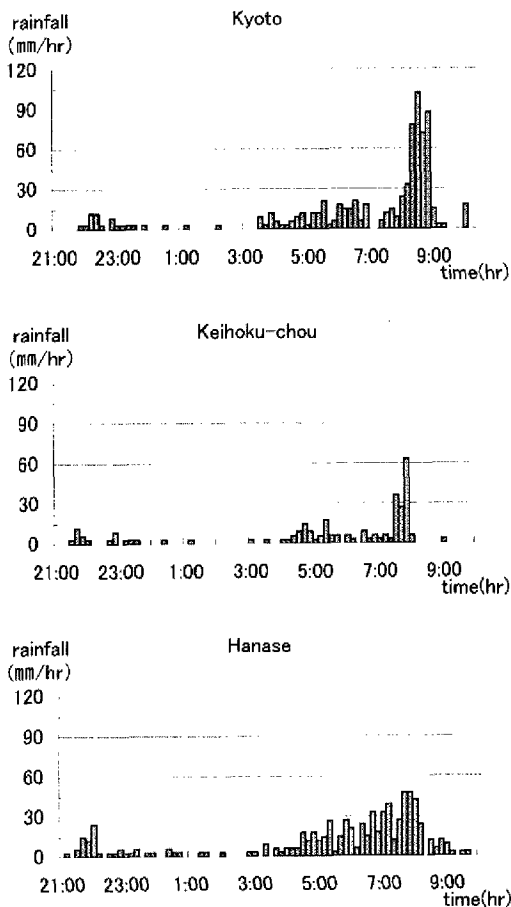


Fig.5 Hyetograph on 26-27 June, 1999

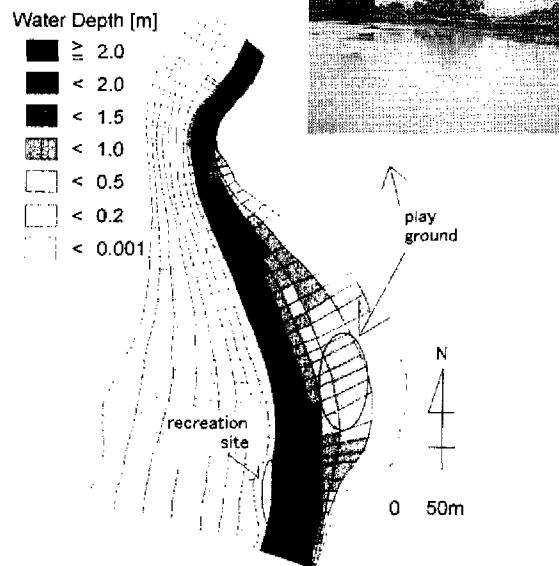


Fig.6 Inundation record and simulation result

は変化し，その結果，氾濫解析結果も変化する。よって，ここでの解析を進めるにあたって，等価粗度の値を適切に決定する必要がある。

1999年6月26日～27日に京都市周辺でまとまった雨が観測された。26日21:00～27日10:00の間に観測された京都地方気象台，京北町，花背の総雨量はそれぞれ，126mm，53mm，124mmである。降雨分布を Fig.5 に示す。この降雨時に京都府京都土木事務所が，公園およびその周辺部の浸水状況を写真撮影している。今回，その浸水状況写真と等価粗度を変化させた氾濫解析結果とを比較することにより，等価粗度の値を決定することとした。公園内のグラウンドは，最も浸水が激しい時にほぼ全域で10cm～30cmの浸水が見られた。この状況を最もよく再現する最大浸水深分布の解析結果が  $N=0.8$  のときに得られた (Fig.6 参照)。したがって本報では  $N$  の値として0.8を用いることとする。

### 3.3 短時間豪雨条件での解析

#### (1) 1994年7月の降雨条件での解析

Fig.7 に示す1994年7月26日14時40分～18時30分の降雨条件に対する解析を行った。この解析ケースをケースAとする。この降雨は，京北町および花背では，10分間の最大降雨強度がそれぞれ100mm/hr，80mm/hrを超え，総雨量が42mm，39mmの短時間集中型の降雨パターンを示しているが，京都地方気象台では，小雨程度の雨が20分間ずつ2度降っているだけで，総雨量は4mmであった。Fig.4 に示す終野公園周辺部のA～Cの各地点浸水深とA点の前面

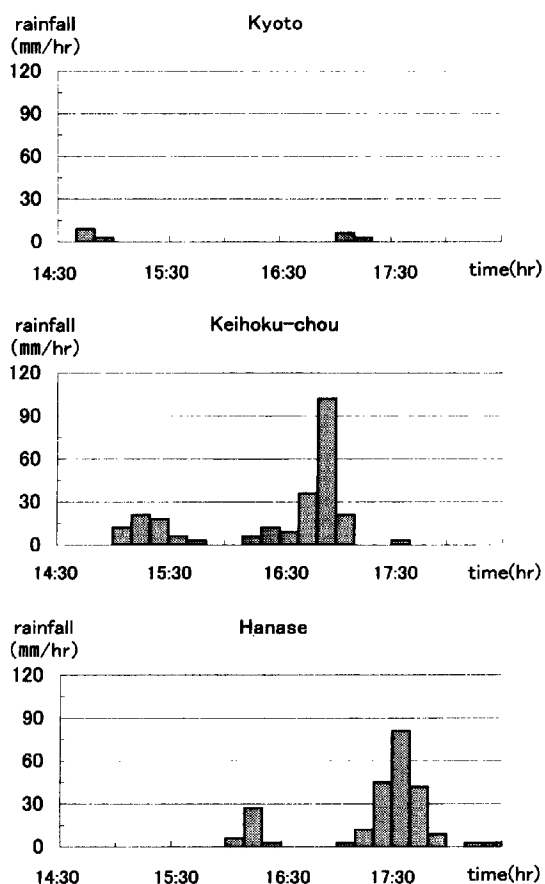


Fig. 7 Hyetograph on 26 July, 1994

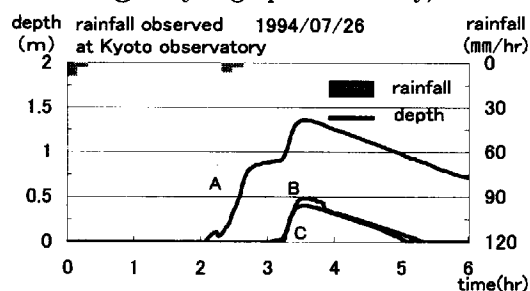


Fig. 8 Temporal change of inundation depth (Case A)

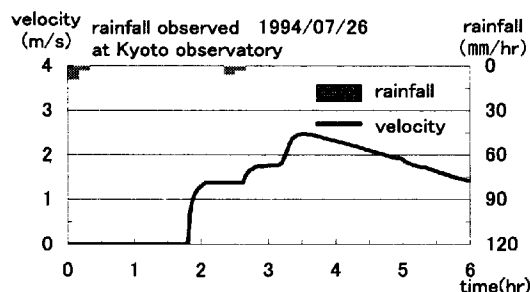


Fig. 9 Temporal change of velocity (Case A)

の河道内 X 地点での流速の時間変化を、Fig. 8, Fig. 9 に示す。公園周辺の A~C 地点は、  
 A : 右岸の親水性を有する河川敷内、  
 B : 左岸の駐車場内、  
 C : 左岸の公園内、  
 にそれぞれ位置する。また上流域の親水域における

水深および流速の時間変化を Fig. 10 に示す。なお、Fig. 8~Fig. 10 では降雨開始時刻の 14 時 40 分を計算開始時刻の 0 時と表示している。

終野公園周辺部では、X 地点で、流速が現れはじめて 10 分ほどのうちに約 1.5m/s にまで上昇し、最終的に最大流速は約 2.5m/s に達する。また親水空間 A は、X 点を含む前面の河道の水位上昇をうけて浸水するが、その浸水深は、計算開始開始後 2 時間 20 分から約 30 分弱の間に 0.1m から 0.8m にまで上昇する。地点 A の裏手はひらけた空間になっているとはいえ、保護者が少し目を離れた際に小さな子供が思わぬ水難事故に遭うことも十分考えられる状況と言える。

降雨観測 3 地点のなかでは京都地方気象台が終野地点に最も近く、しかも両地点は京都市内の平地部に属する。仮に終野地点での降雨が京都地方気象台の降雨で表現されるとして、Fig. 8, Fig. 9 の上部にその降雨分布を示した。降雨と、水深や流速の時間変化から明らかなように、X 点の流速は 1 度目の小雨が止んだ後、降雨がない状況の下で突然上昇し、また A 点の浸水深は 2 度目の小降りの雨とともに急上昇する結果となる。

一方、Fig. 10 の上流域の親水地点の流速、水深の変化をみると、水深の時間変化はそれほど激しさはないが、流速についてみると、どの地点においても急激に上昇する時間帯が存在する。そして、ほとんどの地点で流速が 4.0m/s を超えるほどまでに上昇している。

## (2) 1997 年 7 月の降雨条件での解析

前項と同様に、Fig. 11 に示す 1997 年 7 月 10 日 12 時 00 分~15 時 40 分の降雨条件に対する解析を行った。この解析ケースをケース B とする。この降雨は、京北町および花背で、10 分間の最大降雨強度がともに 50mm/hr を超えており、両地点の総降雨量は、それぞれ、36mm, 53mm であるが、前項の雨よりも集中度は小さい。一方、京都地方気象台での観測降雨は 10 分間の最大降雨強度が 24mm/hr で、総降雨量は 20mm に達している。

終野公園周辺部での地点浸水深と流速の時間変化を、Fig. 12, Fig. 13 に、上流域の親水域における水深および流速の時間変化を Fig. 14 に示す。なお、Fig. 12~Fig. 14 では降雨開始時刻の 12 時 00 分を計算開始時刻の 0 時と表示している。

終野公園周辺部では、X 地点での流速の上昇度、A 地点での浸水深の上昇度とも前項の降雨時の程度を上回っている。すなわち X 地点では、わずか数分のうちに流速が 0m/s から約 1.5m/s まで上昇し、A 地点の浸水深も計算開始開始後 2 時間から 10 分足ら

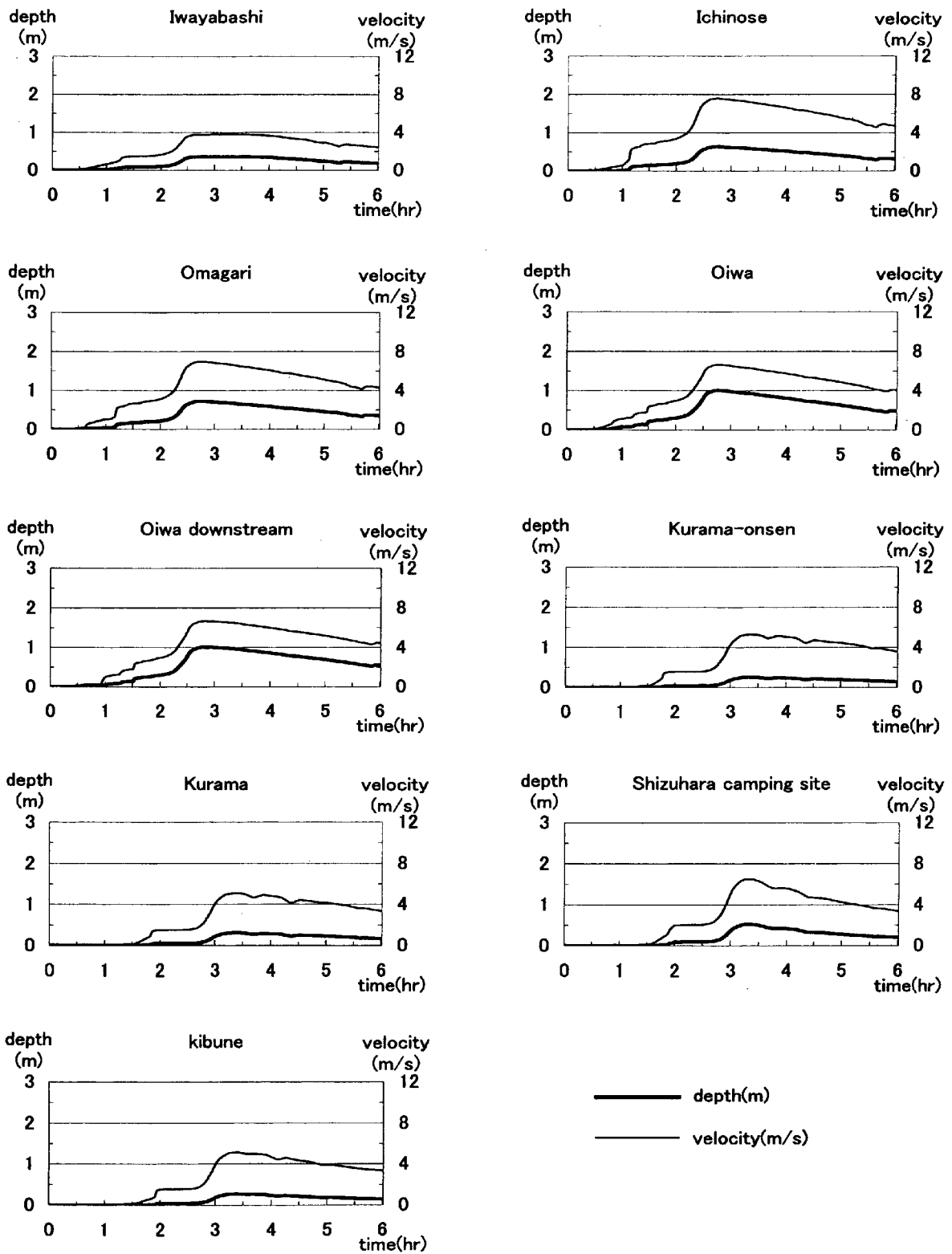


Fig.10 Temporal change of depth and velocity (case A)

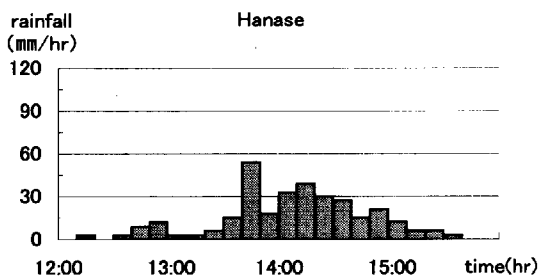
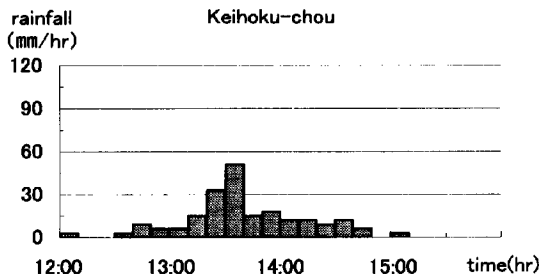
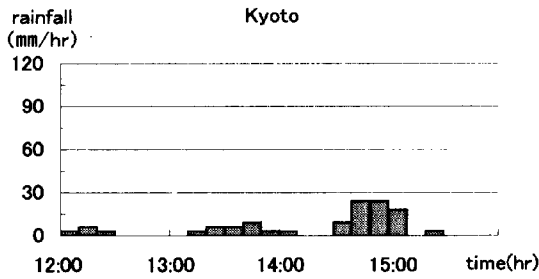


Fig.11 Hyetograph on 10 July, 1997

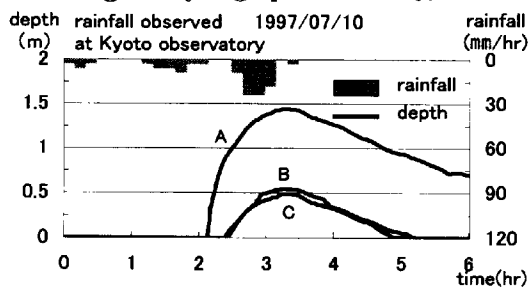


Fig.12 Temporal change of inundation depth (Case B)

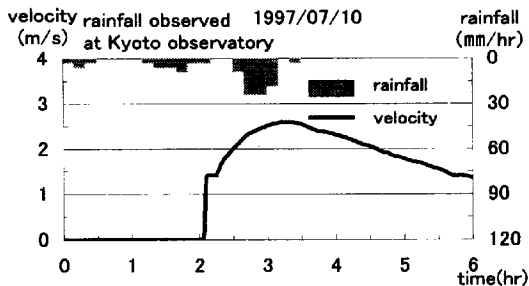


Fig.13 Temporal change of velocity (Case B)

ずで0.5mまで上昇し、その後20分経過すると約1m近くまで達する。図の上部には、前項と同様に京都地方気象台の観測降雨も併記してあるが、計算開始2時間30分後のまとまった降雨の前にA地点の浸水深やX地点の流速の急変がみられる。3観測所の降雨分布のずれ、とくに降雨ピークのずれが、終野地

点での立ち上がりがシャープな流出流量をもたらし、その結果、浸水深や流速が急変したものと考えられる。

一方、上流域の親水地点の流速、水深の変化をみると、前項と同じく、ほとんどの地点で流速が4.0m/sを超えるほどまでに達し、とくに、賀茂川沿いの各地点では比較的短時間で流速が上昇している。

### (3) まとめ

谷川岳での水難事故発生時の降雨を与えた戸田ら(2002)の解析に続いて、近年の観測降雨をもとにした今回の解析から、終野公園周辺部では危険な状況が起こり得ることがあらためて確認された。また上流の親水域でも、終野公園周辺部とは様子が異なるが、短時間の集中豪雨により河道内の流速が急増する状況が起こり得ることが示された。なお、上流域の解析は1次元解析であり、縦断方向の河道の変化は考慮しているものの終野公園周辺部の解析で扱ったような微地形までは考慮できていない。また、流速は河道の粗度係数に大きく影響されるので、水位データをもとにした粗度係数の検証が必要である。

## 4. 上流親水域の危険度評価

ここでは戸田ら(2002)の方法にならない、モデル降雨の降雨強度と対象地点の流速の時間変化特性を整理することにより、上流親水域の危険性を地点間の比較をとおして明らかにすることとする。

### 4.1 賀茂川流域の短時間豪雨

まずモデル降雨の波形とその降雨強度を決定する。本報では、親水域の流況の急変を扱うので、モデル降雨はできるだけ単純な波形でしかも短時間のものがふさわしい。そこで最も単純なものとして、降雨強度一定の降雨波形を考え、継続時間は、夏の激しいわか雨を想定して30分間とした。

1994年から2000年までの京都地方気象台、京北町、花背のアメダス観測所の10分間雨量データから、短時間豪雨として降雨継続時間が30分以上2時間以下の降雨を抽出した。そして、抽出した降雨分布からFig.15に示すように継続時間30分間の平均降雨強度を時刻を移動させて順に調べていき、それが最大となるものを取りあげた。これを「継続時間30分の最大降雨強度( $R_{max30}$ )」と定義する。3観測所の $R_{max30}$ を整理したものがTable 1である。

Table 1より、 $R_{max30}$ が30mm/hr以上の降雨はどの観測地点でも平均すれば年に2回程度発生しており、60mm/hr以上の降雨も7年間のうちに1度は発生していることがわかる。これらの結果を基にモ



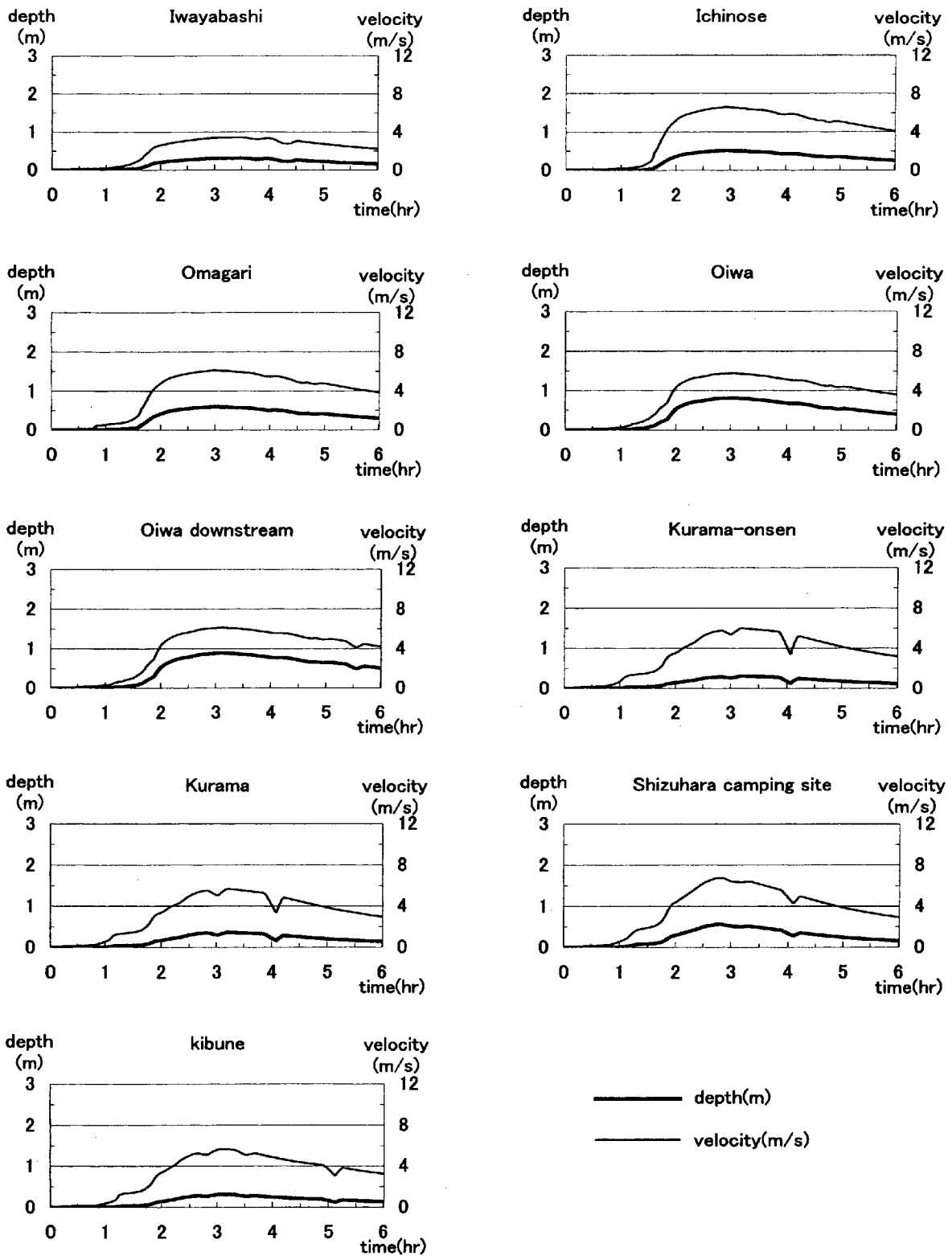


Fig.14 Temporal change of depth and velocity (case B)

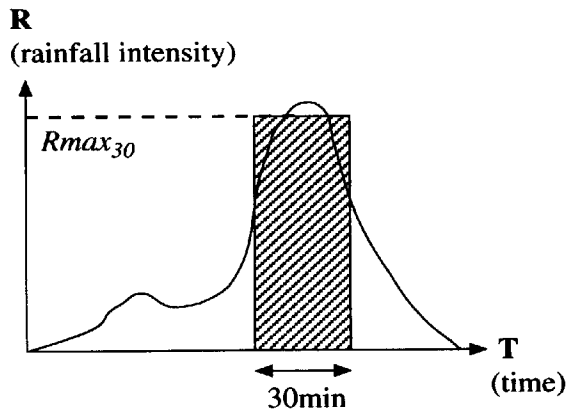


Fig.15 Definition of  $R_{max30}$

Table 1  $R_{max30}$  at three observatories

$R_{max30}$ (mm/hr)	Kyoto	Keihoku-chou	Hanase
30~40	10	9	7
40~50	7	3	5
50~60	0	2	3
60~70	2	1	0
70~80	0	0	1
80~	1	0	0
total	20	15	16

モデル降雨の降雨強度を  $R_{max30}=30\text{mm/hr}\sim 80\text{mm/hr}$  の範囲とした。

#### 4.2 危険度評価図

上流域の親水地点を対象に、継続時間30分で一定降雨強度 ( $R_{max30}$ ) のモデル降雨を対象領域に一樣に与えた。対象領域に一樣に降る雨は現実的ではないが、降雨の時空間分布をモデル化するのは容易ではないこと、定めた降雨継続時間が30分間と短いこと、各地点の危険度の比較に重点をおいていることから、このような条件を用いた。水が流れていない初期状態から、ある一定の流速  $v$  にいたるまでに要する時間  $t_s$  と  $R_{max30}$  の関係を表したものが Fig.16 である。図から「降雨強度 ( $R_{max30}$ ) がどの程度であれば何分後に流速がどの程度まで上昇するか」を簡単に読みとることができる。あわせて、各地点間の危険度も容易に比較することができる。

Fig.16 より、例えば、③おおまがりでは、 $R_{max30}=60\text{mm/hr}$  のときに流速  $v$  が  $0\text{m/s}$  から  $2.0\text{m/s}$  に上昇するのに要する時間  $t_s$  は約18分であるが、②市ノ瀬、④大岩、⑤大岩下流では25~30分を要している。同じ賀茂川沿いであってもその場所によって危険度が異なることがわかる。また、⑥鞍馬温泉や⑦鞍馬では最も短時間で流速が  $2.0\text{m/s}$  にまで達していることから、賀茂川流域においては鞍馬川沿いの地点の危険度が高いようである。

また、ここで述べた方法を用いることによって、異なる流域間の危険度を、巨視的に比較することも可

能である。

#### 5. おわりに

京都の賀茂川流域を対象として、近年に観測された短時間降雨によって河川親水域がいかにか危険な状況になり得るかを解析した。得られた知見を要約すれば以下のとおりである。

1. 平面2次元の氾濫解析結果より、中流部の終野公園周辺の親水域では、浸水深や流速がきわめて短時間のうちに上昇することが明らかとなった。
2. 1次元の流出解析結果より、上流の親水域では、終野公園周辺部とは様子が異なるが、河道内の流速が比較的短時間で変化する可能性があることが知られた。
3. モデル降雨の降雨強度と流速の上昇に要する時間との関係を整理して、上流域の親水域の危険度評価図を作成した。その結果、同じ川沿いであっても場所により危険度が異なることがわかった。

今後の課題としては、以下のことが挙げられる。

1. さまざまな情報をもとに解析精度の検討を進める必要がある。すなわち、水位、流量データを用いた流出解析の精度の検証や、聞き取りを含む現地調査に基づいた2次元氾濫解析の精度の検証を実施する必要がある。
2. 上流域の親水地点にも平面2次元の氾濫解析法を適用し、危険度の詳細を明らかにする必要がある。
3. 流域全域にわたっての危険度解析の結果を、よりわかりやすく表現する工夫も必要である。

#### 参考文献

- 井上和也・戸田圭一・林秀樹・川池健司・坂井広正 (1998): 市街地における氾濫解析モデルの考察, 京都大学防災研究所年報第41号B-2, pp.299-311.
- 川池健司・井上和也・戸田圭一・中川一・中井勉 (2000): 急傾斜都市における土砂・氾濫災害の解析, 京都大学防災研究所年報第43号B-2, pp.333-343.
- 川池健司・井上和也・林秀樹・戸田圭一 (2002): 都市域の氾濫解析モデルの開発, 土木学会論文集 No.698/II-58, pp.1-10.
- 危険が内在する河川の自然性を踏まえた河川利用及び安全確保のあり方に関する研究会 (2000): 恐さを知って川と親しむために, 建設省河川局河川環境課資料

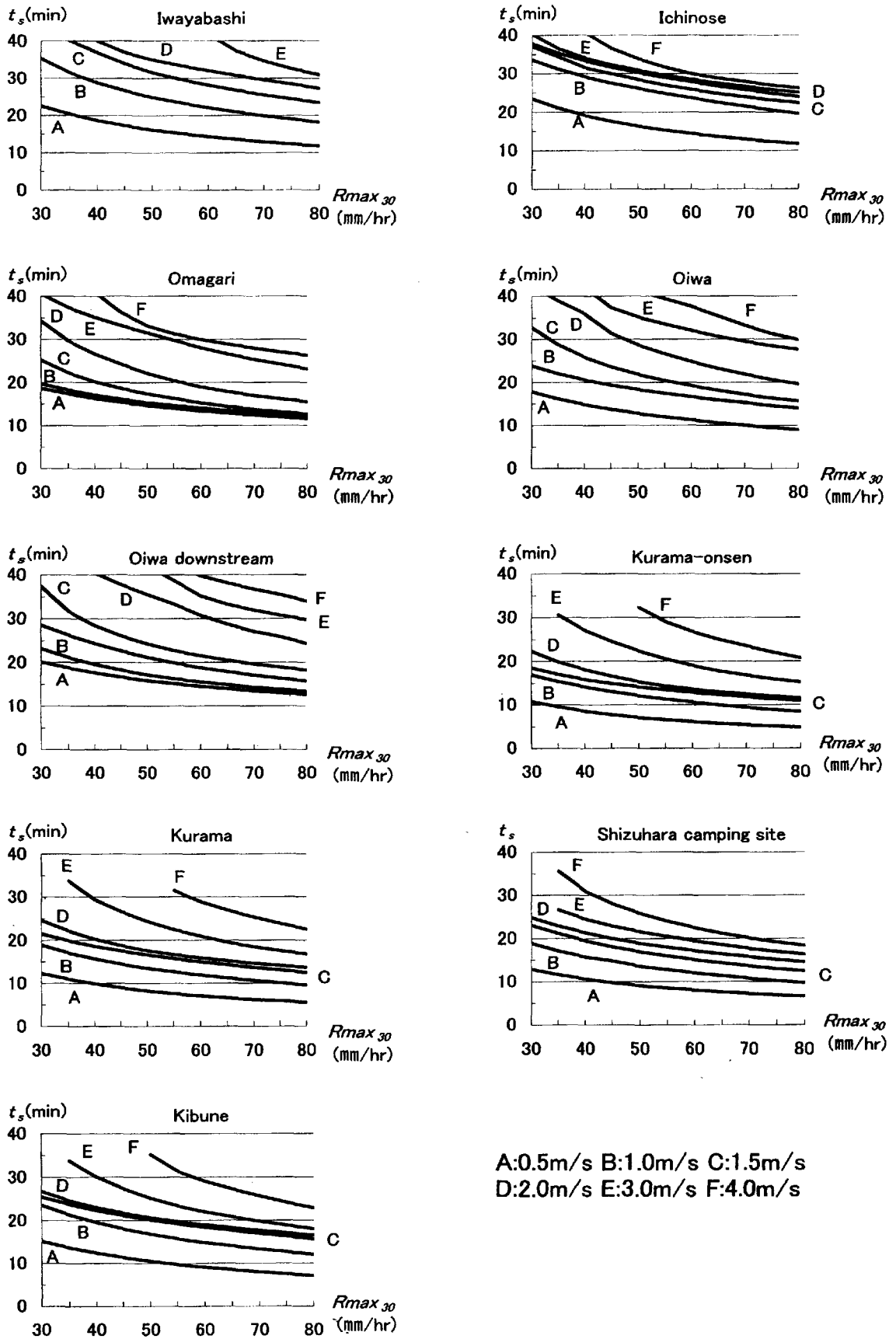


Fig.16 Hazard prediction diagram

京都新聞社編(1980): 史跡探訪 京都北山, 京都新聞社  
京都府(1976): 鴨川改修計画書, pp.26-29.  
佐藤寿延(2001): 提言「恐さを知って川と親しむために」を踏まえた取り組みについて—全国の13モデル河川における取り組み—, 河川, 9月号, pp.101-104.

戸田圭一・井上和也・徳永智宏・川池健司(2002): 豪雨時の河川親水域の危険度解析, 水工学論文集, 土木学会, 第46巻, pp.355-360.

## **On Flood Hazard Possibility of Recreation Site in Kamo Rivr Basin by a Short-time Heavy Rainfall**

Keiichi TODA, Kazuya INOUE, Tomohiro TOKUNAGA\* and Kenji KAWAIKE\*\*

\* Graduate School of Engineering, Kyoto University

\*\*Faculty of Engineering, Nagasaki University

### **Synopsis**

This study treats flood hazard possibility of river recreation site by a short-time heavy rainfall. The 1-D runoff model by the kinematic wave method and the 2-D inundation flow model by the curvilinear coordinate system are used for flood hazard analysis. The recreation sites in Kamo river basin are studied based on the recently observed rainfall. Through the analysis, it has been found that Hiragino park area can become very dangerous and that for the upper river basin, the river recreation sites can also become dangerous by the rapid rise of flow velocity.

**Keywords :** Kamo river; river recreation site; runoff analysis; inundation flow analysis; heavy rainfall; hazard prediction diagram