

# 流域全体を対象とする河川水位の実時間予測 情報提供システムの開発

DEVELOPMENT OF A REAL-TIME WATER LEVEL FORECASTING SYSTEM  
USING A PHYSICALLY-BASED DISTRIBUTED HYDROLOGIC MODEL

安賢旭<sup>1</sup>・立川康人<sup>2</sup>・道広有理<sup>3</sup>・椎葉充晴<sup>4</sup>・市川温<sup>5</sup>  
H. AN, Y. TACHIKAWA, Y. MICHIIHIRO, M. SHIIBA and Y. ICHIKAWA

<sup>1</sup> 学生会員 修(工) 京都大学 博士課程 大学院工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

<sup>2</sup> 正会員 博(工) 京都大学 准教授 大学院工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

<sup>3</sup> 非会員 修(理)(財) 日本気象協会 (〒542-0081 大阪市中央区南船場二丁目3番2号)

<sup>4</sup> 正会員 工博 京都大学 教授 大学院工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

<sup>5</sup> 正会員 博(工) 山梨大学 准教授 大学院医学工学総合研究部 (〒400-8511 甲府市武田4-3-11)

A real-time distributed rainfall-runoff forecasting system for the Yodo River basin (7,281km<sup>2</sup>) is improved with water level forecasting information. Real-time 6 hour-ahead forecasting rainfall information with 2.5 km spatial resolution provided by the Japan Weather Association is fed into the forecasting system. Then, the system provides 6 hours-ahead river discharge and water depth/stage predictions every one hour at 1,707 points located about 3 km intervals along the channel networks. Discharge and river flow are simulated by using a distributed hydrologic model with kinematic flow approximation, and transformed into water depth/stage information. The real-time water depth/stage forecasting results are provided through a web site <http://yodogawa.kuciv.kyoto-u.ac.jp/WL/>.

**Key Words** : Real-time flood forecasting, distributed rainfall-runoff model, water level forecasting

## 1. はじめに

中小河川における洪水被害を軽減するためには、精度の高い流出予測システムを実現することが基本となる。特に水文観測が不十分な中小河川を対象とする場合は、特定の中小河川を対象とする流出モデルを構築することが難しく、流域全体を対象とする詳細分布型流出モデルを構築してその中から必要な地点の情報を取り出すという方式以外に有効な手立てがないと考えられる。

立川ら<sup>1)</sup>はこうしたことを考慮し、淀川流域を対象とする広域分布型の流出予測モデルを実時間で動作させて、6時間先までの予測河川流量をホームページを通して閲覧することができる情報提供システムを構築してきた(<http://yodogawa.kuciv.kyoto-u.ac.jp/>)。ただし、実際に必要とされる防災情報は流量よりも水位である。水位の方が感覚として理解しやすく、防災情報や住民の避難行動も水位情報に基づき発表される。そこで本研究では実時間流量予測システムを発展させて、流量だけでなく水深(水位)を計算し、その結果を実時間で表示するシステムを開発した(<http://yodogawa.kuciv.kyoto-u.ac.jp/WL/>)。具体的には河道追跡計算において流量と

ともに水深を実時間で予測し、観測水位とともに予測水深(水位)を表示するシステムを開発した。

## 2. 分布型実時間水位予測システムの構成

システムの基本的な構造は立川ら<sup>1)</sup>と同様であり、その内容を含めて、簡略にまとめて述べる。

### (1) 対象流域

淀川流域(枚方地点より上流域 7,281km<sup>2</sup>, 図-1)を対象とする。対象流域は高度に流水が制御されており、高山ダム、青蓮寺ダム、布目ダム、室生ダム、比奈知ダムなど主要なダムは木津川流域に存在する。また、琵琶湖からの流出量は瀬田洗堰、さらに下流の天ヶ瀬ダムで制御される。桂川流域には日吉ダムが存在する。

### (2) 分布型流出モデル

流出モデルは市川ら<sup>2)</sup>が開発した分布型流出モデルを基本とする。そのために椎葉らによる流域地形の数値表現形式<sup>3),4)</sup>を採用し、国土地理院が発行する数値地図250m(標高)を用いて250mの空間分解能で斜面要素の流

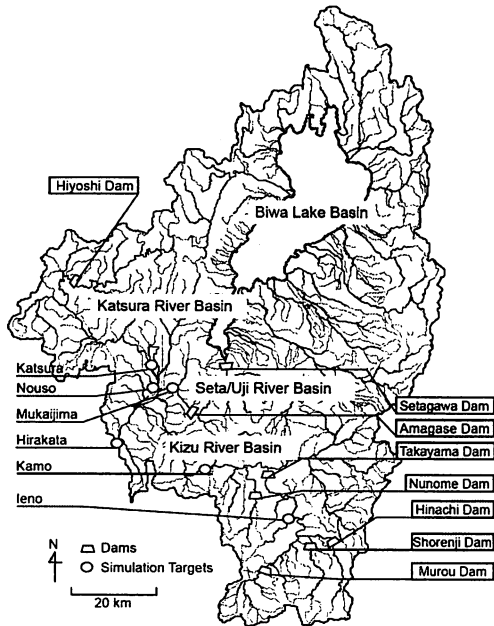


図-1 淀川流域における河道網と主要水位・流量観測地点およびダム貯水池の位置

れ方向を一次元的に決定する。流域は矩形の斜面要素の集合体と、それが接続する河道網によって表現される。流れ方向に従って、すべての矩形斜面要素での流れを逐次追跡して河道への流出量を算定し、河道における流れを追跡して河川流量を算定する。流れの追跡計算には斜面部、河道部ともキネマティックウェーブモデルを用いる。ただし、斜面部ではマトリクス流、中間流、表面流による流れの機構を導入した流量積算関係式<sup>5)</sup>を用いて低水時の流れの再現性を高める工夫をしている。

河道部は次の連続式とキネマティックウェーブ式によって計算される。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial t} = q_L \quad (1)$$

$$Q = \alpha A^m, \alpha = \frac{\sqrt{i}}{n} K^{2/3}, m = 1 + \frac{2Z}{3} \quad (2)$$

$Q$  は断面平均流量、 $A$  は通水断面積、 $q_L$  は側方流入量、 $i$  は河床勾配、 $n$  はマンニングの粗度係数、 $\alpha$ 、 $m$ 、 $K$ 、 $z$  は断面ごとに決まるパラメータである。通水断面積  $A$  と最深部からの水深  $h$  は 1 対 1 で対応し、次式で表現することにする。

$$R = KA^z, \quad h = aR^b \quad (3)$$

ここで、 $R$  は径深、 $K$ 、 $Z$  は上述のパラメータ、 $a$ 、 $b$  は断面ごとに定まるパラメータである。断面情報がある地点では、 $a$ 、 $b$ 、 $K$ 、 $Z$  を定め、 $A$  から  $h$  を求める。断面情報が得られない地点では広幅矩形断面と仮定し、 $B$  を河道幅として断面形状パラメータを以下のように設定した。

$$K = 1/B, \quad Z = a = b = 1 \quad (4)$$

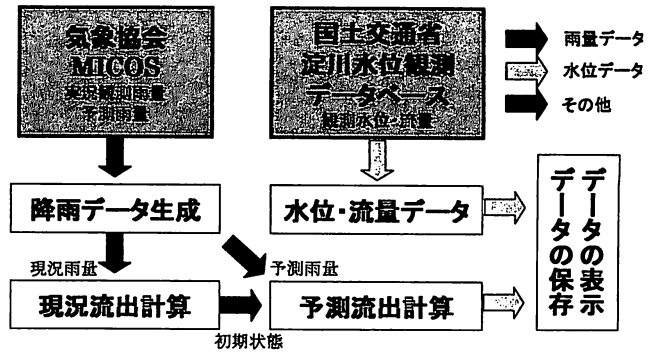


図-2 実時間流出予測計算の概略手順

河道幅は、淀川流域内の木津川流域、琵琶湖流域、桂川流域において 22 地点の河道幅(底水流量時の河道幅)と集水面積の関係式から次に示す回帰式を設定し、すべての河道区分に対して流域面積  $A$  ( $m^2$ ) から河道幅  $W$  (m) を設定した。

$$W = 0.024A^{0.39} \quad (5)$$

ただし、淀川本川、瀬田川・宇治川については上流に琵琶湖が存在し、回帰式が適合しないので、それぞれ数地点の河道幅を平均し、淀川本川、瀬田川・宇治川の河道幅をそれぞれ 262m、116m とした

その他、琵琶湖を表現する湖沼モデル、およびダムモデルが導入されている。淀川流域全体の流出予測システムは、複数の河道要素モデル(1707 個)、部分流域要素モデル(1707 個)、湖沼要素モデル(1 個)、およびダム要素モデル(8 個)によって構成される。それらの詳細とパラメータ等の算出については立川ら<sup>1)</sup>を参照してほしい。また、水深から水位を求めるためには、河床最底面の標高が必要になる。現時点では、水位情報を入手している地点についてはゼロ点高を河床最低面とみなしてゼロ点高を基準とする水位(すなわち河床最底面における水深)を、断面情報がわからない地点については広幅矩形断面を仮定した水深を表示している。

### 3. 実時間水位予測報表示システム

本システムでは、(財)日本気象協会によるレーダーアメダス実況雨量、超短時間予測(3 時間先予測値まで)および気象庁による降水短時間予測(3 時間先から 6 時間先予測値)を入力データとし、その雨量データの分布型流出モデルへの入力、流出予測計算、計算結果のデータベース格納までの一連の作業を 1 時間毎に自動的に実行する。その概略を図-2 に示す。予測流出計算では現況流出計算によって得られた現在時刻の状態量を初期値とし、6 時間先までの流出予測計算を行う。

国土交通省によって水位観測が行われている主要 62 地点では、現況計算水位および予測計算水位以外に観

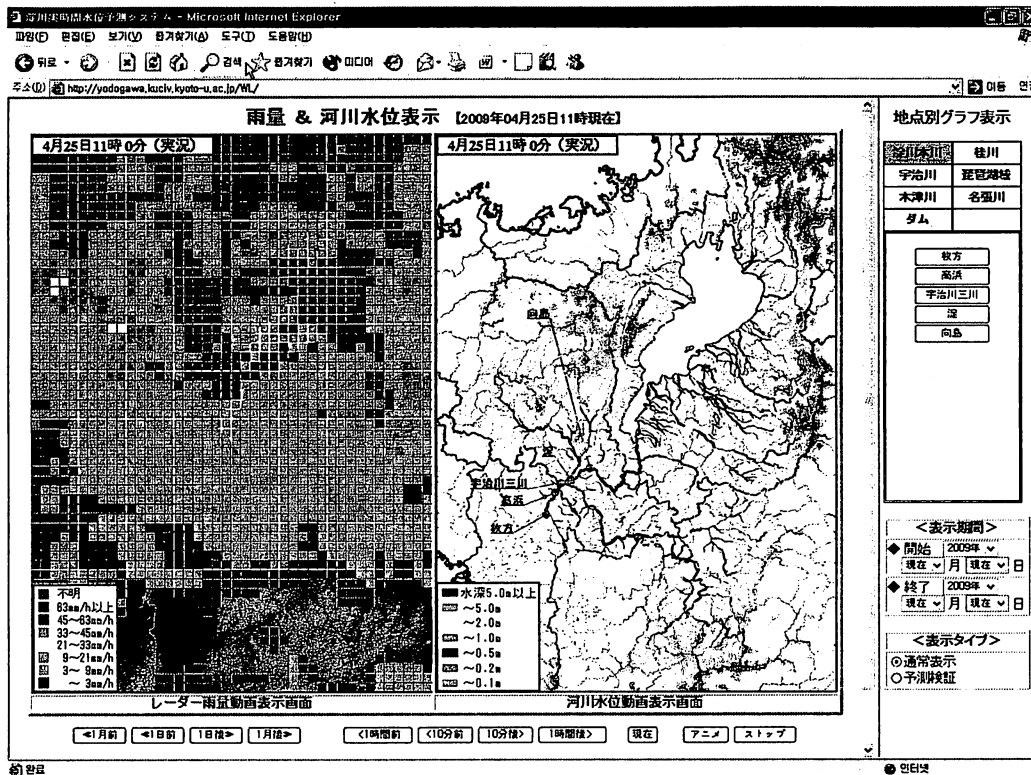


図-3 雨量・河川水位の予測計算結果の空間分布表示画面

測水位、流域平均現況雨量、流域平均予測雨量をデータベースに格納し、表示システムから閲覧することができるようにシステムを構築している。それ以外の 1645 地点では現況および予測計算による水深を閲覧することができるようにしている。現時点では 44 地点の観測水位情報を実時間で入手し、順次、ゼロ点高に合わせて水位情報を閲覧できるように作業を進めている。

開発している表示画面は下記の 4 種類であり、<http://yodogawa.kuciv.kyoto-u.ac.jp/WL/> を通して予測情報を閲覧することができる。これらは、以下を目的として表示システムを設計した。

- 1) 雨量・河川水位の現況と予測結果を面的に把握できるようにすること(図-3)。
- 2) 雨量・河川水位の現況と予測結果を地点ごとに任意の期間でグラフ表示できること(図-4)。
- 3) これまでに実施した予測結果を保存し、予測モデルの検証を行うことができること(図-5)。
- 4) 雨量・河川水位の現況と予測結果を常時、モニタリングできること(図-6)。

(1) 雨量、河川水位マップ(図-3)

雨量・河川水深の現況と予測結果を面的に把握することを目的とし、雨量および本予測システムで得られた河川水位の現況値・予測値の空間的な変化を動画で表示した。これにより、雨域の移動とともに河川水位の変動を容易に視覚的に把握することができる。左画面に現況および予測による雨域の移動が動画で示され、右画面には、雨域の移動と同期して

河川水位の現況および予測の空間的な変動が示される。また、現在時刻だけではなく、過去に遡って雨量や水位の変化を見られるようにした。

(2) 地点別の予測結果の時系列表示(図-4)

雨量・河川水位の現況と予測結果を時系列的に把握することを目的とし、対象地点ごとに 6 時間先までの最新の河川水位の予測結果をグラフ表示する。グラフには予測流域平均雨量と予測河川流量が表示される。さらに、情報が存在する地点については、「河床断面」「水防団待機水位」「氾濫注意水位」「避難判断水位」「氾濫危険水位」「計画水位」を描画する。この画面は図-3 の右側から地点名をクリックし、選択することができる。

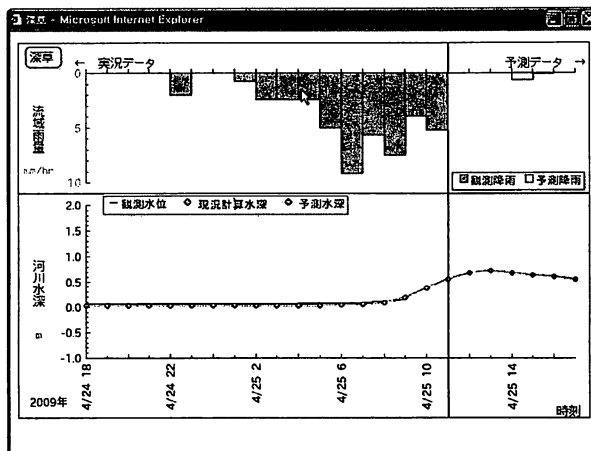


図-4 地点別の予測結果の時系列表示画面

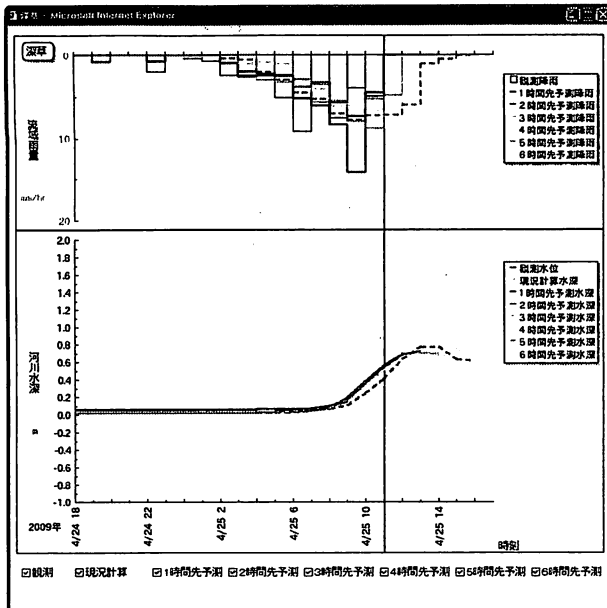


図-5 地点別の予測結果検証用の時系列表示画面

### (3) 予測結果検証用の時系列表示 (図-5)

予測結果を検証することを目的とし、対象地点ごとに過去に遡って、1時間先から6時間先の予測水位の計算結果および観測水位を重ねてグラフ表示する。また、水位だけでなく流域平均の予測雨量についても同様に表示する。これにより、予測降雨および予測水位の予測精度を実時間で検証することができる。対象地点および検証項目は図-3の右下の予測検証をチェックし、地点名をクリックすることで選択することができる。

### (4) 自動更新表示 (図-6)

雨量・河川水位の現況と予測結果を常時モニタリングすることを目的とし、面的な動画情報と時系列情報を同時に用いて最新の予測結果を表示する。表示内容は雨量と河川水位の2次元的な動画と、主要地点の予測水位グラフと観測水位グラフである。この画面は、河川管理者が降雨および河川水位の現況・予測情報を常時モニタリングすることを想定して設計した。動画画面は現在時刻から6時間先までの最新の予測情報を繰り返し表示する。また、主要地点のグラフ情報は、一定時間間隔ごとに対象地点を入れ替え、全体の予測内容が把握できるようにしている。

## 4. おわりに

中小河川流域を含む任意の地点を対象として、高度な洪水予測情報を提供することは、減災のための基本であり、技術的にまだまだ大きく進展する可能性がある。立川ら<sup>1)</sup>はこれを実現するプロトタイプとして、広域分布型流出予測モデルをエンジンとする実時間水防災情報提供システムを開発した。本研究では、さらにそのシステムを拡張し、流量だけではなく水位情報を表示するシステム開発した。この

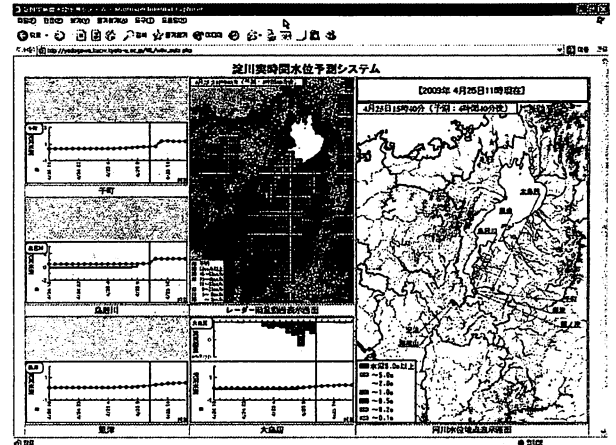


図-6 自動更新表示画面

システムはインターネットを通して実時間に閲覧することが可能である (<http://yodogawa.kuciv.kyoto-u.ac.jp/>)。

このシステムは、OHyMoS<sup>6)</sup>を用いて開発しており、部分的に要素となる水理水文モデルを容易に交換することができる。現時点では河道追跡計算にキネマティックウェーブモデルを用いているが、必要な区間をダイナミックウェーブモデルで計算するなど、より高い精度で水位計算を実施することが今後の課題である。また、観測情報を用いてモデル状態量の同化・初期値化サブシステムを導入することにより、予測の精度の向上させることも重要な課題として取り組んでいる。

謝辞：本研究を進めるにあたり、(財)河川環境管理財団の河川整備基金助成事業による補助をいただいた。また、国土交通省淀川河川事務所から水文データの提供をいただいた。記して謝意を表する。

### 参考文献

- 1) 立川康人, 佐山敬洋, 宝 馨, 松浦秀起, 山崎友也, 山路昭彦, 道広有理: 広域分布型物理水文モデルを用いた実時間流出予測システムの開発と淀川流域への適用, 自然災害科学, Vol. 26, No. 2, pp.189-201, 2007.
- 2) 市川 温, 村上将道, 立川康人, 椎葉充晴: 流域地形の新たな数理表現形式に基づく流域流出系シミュレーションシステムの開発, 土木学会論文集, No. 691/II-57, pp.43-52, 2001.
- 3) 椎葉充晴, 立川康人, 市川 温: 流域地形の新しい表現形式とその流出モデリングシステムとの結合, 京都大学水文研究グループ研究資料, No. 1, pp.142, 1998.
- 4) 椎葉充晴, 市川 温, 榊原哲由・立川康人: 河川流域地形の新しい数理表現形式, 土木学会論文集, No. 621/II-47, pp.1-9, 1999.
- 5) 立川康人, 永谷 言, 寶 馨: 飽和不飽和流れの機構を導入した流量流積関係式の開発, 水工学論文集, Vol. 48, pp.7-12, 2004.
- 6) 京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻水文・水資源工学分野, 水文モデル構築システム <http://hywr.kuciv.kyoto-u.ac.jp/> (2009年4月29日参照). (2009.4.9 受付)