

論文

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

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***

Development of a real-time runoff forecasting system using a physically-based distributed hydrologic model and its application to the Yodo River basin

Yasuto TACHIKAWA^{*}, Takahiro SAYAMA^{**},
Kaoru TAKARA^{**}, Hideki MATSUURA^{**},
Tomoya YAMAZAKI^{**}, Akihiko YAMAJI^{***}
and Yuri MICHIIRO^{***}

Abstract

A real-time distributed runoff forecasting system is developed for the Yodo River basin (7,281 km²). The system provides 6 hrs-ahead river discharge predictions every hour. The predictions include river discharges at 1,707 points located about 3 km intervals along the channel networks shown on 1:25000 topographic maps; dam reservoir inflows, outflows, and reservoir stages at the 8 dams in the basin. The distributed hydrologic model routes slope flows one-dimensionally along the steepest flow directions derived from 250 m grid-based DEMs using the kinematic wave equations. The channel routing model with dam reservoir operation simulates river flow taking account of flow regulations. Real-time 6 hrs-ahead forecasting rainfall information with 2.5 km spatial resolution drives the prediction system, which is provided through the Japan Weather Association. The real-time forecasting results are demonstrated through a web site <http://yodogawa.dpri.kyoto-u.ac.jp/>, which presents spatially distributed 6 hrs-ahead discharge predictions and comparisons of provisional observed river discharges.

キーワード：洪水予測，分布型流出モデル，実時間流出予測，淀川流域

Key words: flood forecasting, distributed rainfall-runoff model, real-time discharge forecasting, Yodo River basin

* 京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻
Department of Urban and Environmental Engineering,
Kyoto University

** 京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

*** (財)日本気象協会
Japan Weather Association
本論文に対する討論は平成20年2月末日まで受け付ける。

1. はじめに

計画規模に匹敵する、あるいはそれを上回る極めて大きな洪水がしばしば発生し、特に県管理の中小河川流域において多くの被害が出ている。こうした河川流域は今後とも高い治水整備を実現することは容易ではなく、被害を軽減するためには、確度の高い洪水予測情報を得て、それに基づく確かな避難体制を構築することが洪水災害を軽減する基本と考えられる。平成16年度の豪雨災害を受けて、国土交通省は豪雨災害対策緊急アクションプラン¹⁾を策定し、その中で洪水予測に関連して中小河川における洪水予測の高精度化や既存ダムの有効活用を重要施策として挙げている。

ただし、中小河川流域を洪水予測の対象とする場合、観測データの蓄積が不十分な場合が多く、流出予測モデルを構築することが困難であることが多い。この困難を克服するためには、特定の中小河川を洪水予測の対象とするのではなく、水系全体を対象とする実時間流出予測システムを構築する必要がある。つまり観測流量が存在する複数観測地点での適合性を確認することによって予測システム全体の適合性を仮定し、この予測システムから観測値の存在しない任意地点の予測値を得ることを考えるのである。もちろん、観測が存在する地点での予測流量が観測流量と適合するとしても、それ以外の地点での予測値が正しいことを保証することにはならない。しかし、これ以外の方法では、観測が存在しない地点での予測の正しさを量る手段がまったくない。

これらを念頭に置き、本研究では実時間で得られる水文気象観測・予測情報を利用して、広域分布型流出予測モデル²⁾を予測エンジンとするリアルタイム高度水防災情報提供システムを開発する。これによって2万5千分の一地形図に表示されるほぼ任意の河道地点での河川流量予測情報を流域一体として提供することを目的とする。流域全体を予測の対象としてそこから必要な地点での予測流量を取り出すという考え方を取れば、中小河川流域ごとに予測システムを構築する必要がなく、予測モデルの更新によって流域全体で予測精度の向上を期待することができる。また、観測値

を用いてモデル状態量をカルマンフィルター等により同化し、それを時々刻々、予測の初期値として用いれば、観測のない地点においても観測による初期状態量更新の効果が及ぶので、観測の存在しない地点を含めて予測精度を向上させることが期待できる。

このシステム開発を具体的に進めるために、淀川流域（枚方上流域7,281 km²）をデモンストレーション流域とし、ダム制御の効果を陽に考慮した広域分布型流出予測モデル^{2,3)}を用いて、それを予測エンジンとするリアルタイム流出予測システムを開発する。これによって、ダム放流量や貯水池水位も予測提供情報の一部とし、流域一体として中小河川流域も含めた実時間流出予測システムの構築・運用を実現することを目的とする。

2. 広域分布型流出予測システムの概要

淀川本川に位置する枚方地点より上流域（7,281 km²、Fig. 1）を対象とする。対象流域は高度に流水制御が実施されており、高山ダム、青蓮寺

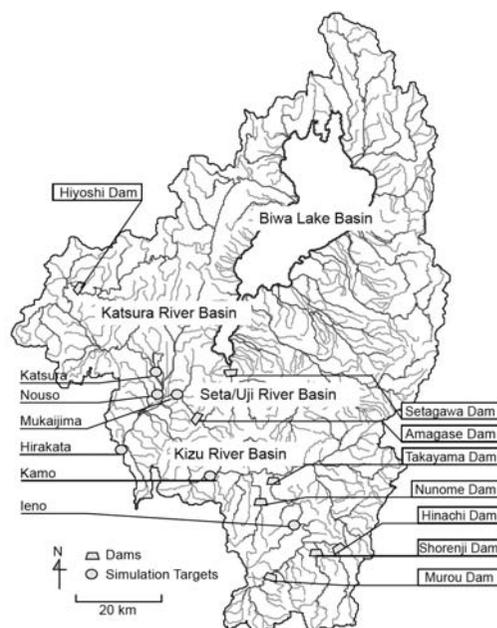


Fig. 1 淀川流域における河道網と主要水位・流量観測地点およびダム貯水池の位置。

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。

2.1 広域分布型流出予測モデル^{2,3)}

流出予測モデルは市川⁴⁾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^{5,6)}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れ方向を一次元的に決定する。Fig. 2に流域モデルの一部を示す。流域は矩形の斜面要素の集合体と、それが結合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する。また、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。

斜面部の土層はFig. 3に示すように、重力水が発生する大空隙部分と毛管移動水の流れの場であるマトリックス部分から構成されると考える⁷⁾。土層厚を D とし、マトリックス部の最大水分量を水深で表した値を d_c 、重力水を含めて表層土壌中に存在し得る最大水深を d_s と考え、流量流積関係式(1)を仮定する。この流量流積関係式と連続式(2)を用いて上流の斜面要素から順次、雨水を追跡する。河道においては矩形断面を仮定し土層厚をゼロとして表面流のみを考える。

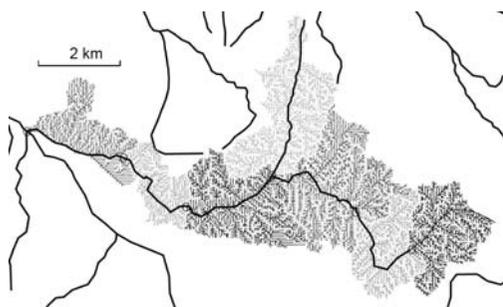


Fig. 2 数値標高モデルと最急の流れ方向によって決る流域モデル。黒実線は河道網を表し、細線は斜面域の流れ方向を表す。

$$q = \begin{cases} v_c d_c (h/d_c)^\beta, & 0 \leq h \leq d_c \\ v_c d_c + v_a (h - d_c), & d_c < h \leq d_s \\ v_c d_c + v_a (h - d_c) + \alpha (h - d_s)^m, & d_s < h \end{cases} \quad (1)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r \quad (2)$$

ここで

$$v_c = k_c i, v_a = k_a i, k_a = \beta k_c, \alpha = \sqrt{i}/n$$

であり、モデルパラメータは流量流積関係式を決定する $n(\text{m}^{-1/3})$ 、 $k_c(\text{m/s})$ 、 $d_c(\text{m})$ 、 $d_s(\text{m})$ 、 $\beta(-)$ となる。 n は地表面流が発生する場合の等価粗度、 k_a は重力水が卓越するA層内の透水係数、 β は重力水部と不飽和水部との飽和透水係数の比である。

この分布型流出モデルを実現するために構造的モデリングシステム⁸⁾を利用し、全体の流出予測システムを河道要素モデル、部分流域要素モデル、湖沼要素モデル、ダム要素モデルの集合として構成する。

2.2 モデルの構築手順

流出予測システム構築の手順は以下のようであり、Fig. 4にその構成図を示す。

- 1) 国土数値情報の河道データ(W15-52L)と湖沼(面)データ(W09-50A)を合成し、琵琶湖の湖岸線を含む河道網データを作成する。
- 2) 河道網を約3 km毎に分割して河道区分

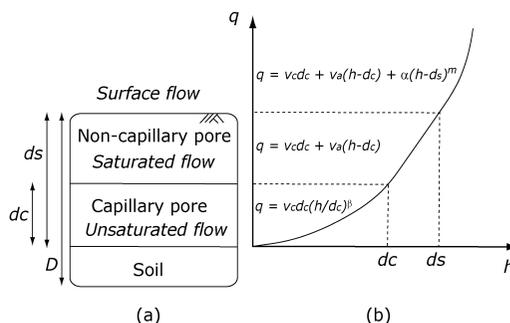


Fig. 3 斜面域の kinematic wave モデルに用いる (a)土層モデルと (b)流量流積関係式。

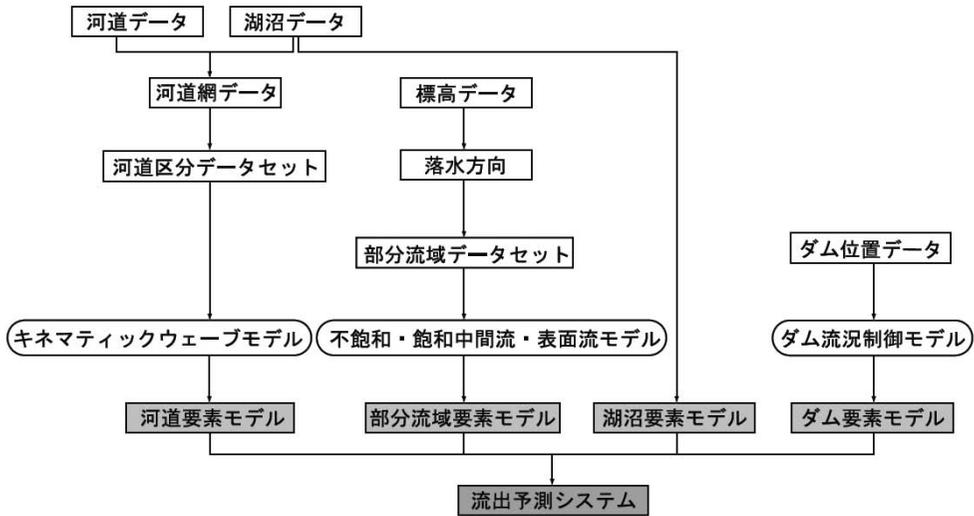


Fig. 4 実時間流出予測システムに用いる広域分布型流出予測モデルの全体構造。

- データセットを作成し、この河道区間を単位として予測計算結果を保存する。対象流域内では河道区間の個数は1707個となる。これによって2万5千分の1地形図に対応するほぼ任意の河道地点での予測結果を得ることができる。
- 3) 標高データから落水方向を決定し、約3 kmごとに分割した河道区分に流入する部分流域を抽出する。部分流域の要素モデルは、空間分解能250mの落水線型の分布型流出モデルである。河川に流入せずに琵琶湖に直接流入する流域については、湖岸線に接する部分流域を抽出する。
 - 4) 部分流域は異なる勾配、落水方向、面積を持つ矩形斜面の集合であり、それぞれの矩形斜面に不飽和・飽和中間流・表面流モデルを適用して、分布型部分流域要素モデルを構築する。
 - 5) 各河道区分には、キネマティックウェーブモデルを適用して河道要素モデルを構築する。河道幅に関しては、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（基底流量時の河道幅）と集水面積の関係から指数関数式を作成し、すべての河

道区分に対する河道幅を算出する。

- 6) 琵琶湖に対しては、流入量、雨量、瀬田川洗堰からの放流量の連続関係から琵琶湖の水位変化を算定する湖沼要素モデルを構築する。琵琶湖からの放流量は、ダム流況制御モデルを瀬田川洗堰に適用した瀬田川洗堰のダム要素モデルによって算定する。
- 7) 淀川流域内の主要8基のダムを対象に、流況制御を表現するダム要素モデルを構築する。
- 8) これら全ての要素モデルを接続して、流域全体の流出予測システムを構築する。

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。対象とする淀川流域の流出予測システムは合計3,423個の要素モデルが全体のシステムを構成している。

2.3 ダム流況制御モデル

ダムの操作規定と意思決定を定式化することにより、ダムによる流況制御の過程をモデル化する。ここで構築するモデルは、ダムへの流入量、

ダム上流域の平均降雨量、および、連携操作の対象となるダムの操作過程を入力情報とし、ダムからの放流量とダム貯水池の水位を予測するモデルである。ここで対象とする淀川流域の主要な8基のダム (Fig. 1) は、全て洪水制御をその目的の一つとする多目的ダムである。それぞれは異なる操作規定に従って運用されているが、操作過程は洪水制御を目的としたダムに共通した操作過程であり、一般化することができる⁹⁾。

それぞれのダムの操作は常に Fig. 5 に示す6段階の操作過程のいずれかにあり、各操作過程にある場合の操作方法と、ある操作過程から別の操作過程に移行する条件をif-then形式で定式化する。詳しいモデル化に関しては佐山ら²⁾を参照されたい。

2.4 モデルパラメータ

国土数値情報の土地利用データをもとにして流域全体を森林域、農地域、都市域に分割し、それぞれ異なるモデルパラメータ値を設定する。これらの値は他流域での同定結果を参考にして調整した。琵琶湖を除いた流域全体に対する面積率は、森林域が63%、農地域が20%、都市域が17%である。使用したパラメータの値を Table 1 に示す。

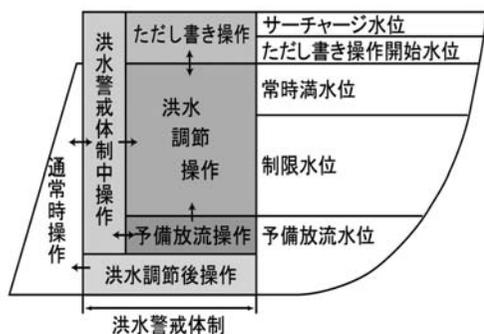


Fig. 5 ダム貯水池による流況制御過程のモデル化。

Table 1 淀川流域の広域分布型流出予測モデルに用いたモデルパラメータの値。

| Land use | $n(m^{-1/3}s)$ | $k_a(m/s)$ | $d_s(m)$ | $d_c(m)$ | $\beta(-)$ |
|--------------------|----------------|------------|----------|----------|------------|
| Forest areas | 0.6 | 0.015 | 0.2 | 0.1 | 8.0 |
| Agricultural areas | 1.0 | - | 0.0 | 0.0 | 8.0 |
| Urban areas | 0.3 | - | 0.0 | 0.0 | 8.0 |

農地域と都市域は土層を考慮せず流量流積関係式の d_c と d_s をゼロとした表面流モデルを用いた。河道の粗度係数 n は $0.03m^{-1/3}s$ とした。

3. 広域分布型実時間流出予測システムの開発

(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時間から6時間先予測値) を入力データとし、2. で示した広域分布型流出予測モデルを予測エンジンとする実時間流出予測システムを開発する。国土交通省の光ファイバーネットワークを通して取得している実時間観測データは、現システムでは予測計算には用いず、予測流量の比較に用いる。

本システムでは雨量データの取得から、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、予測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。これにより、流域内の任意地点における流量を実時間で予測する。予測結果を格納するデータベースは情報ネットワークを介して外部からアクセス可能とし、流量予測情報をインターネット上で閲覧可能としている (4. 参照)。

3.1 使用する実時間水文・気象データ

国土交通省近畿地方整備局淀川河川事務所の淀川水文観測データベースによる水位・流量観測情報と、(財)日本気象協会のMICOSによるレーダーアメダス合成実況雨量および予測雨量を使用する。以下に、各データの詳細を述べる。

(1) 水位・流量データ

国土交通省では全国の主要河川において、10~60分間隔で地上観測雨量および水位、流量、水質等の観測を行っている。淀川流域内においても、39地点の雨量観測所、50地点の水位観測所、25地点の流量観測所、7地点の水質観測所で定時観測が実施されている。本研究では予測流量を比較検討するために、19地点の水位 (暫定流量) データの速報値を利用する。予測流量との比較対象とす

る19地点の水位・流量観測所および流域内に存在する8基のダムの観測項目を Table 2 に示す。

各地点の観測水位・流量データは、国土交通省の光ファイバーネットワークを通して淀川河川事務所の観測データベースにアクセスし、必要なデータを取得する。取得した数値データは、計算機上にデータファイルとしてダウンロードすることができる。暫定観測流量により、流域内の主要地点での予測流量と観測流量との比較が可能となり、予測結果を時々刻々評価することができる。

(2) 降水データ

MICOS (Meteorological Information Comprehensive Online Service) システムは、気象データを

Table 2 予測流量との比較対象とする水位 (暫定流量) 観測所および流域内に存在するダム貯水池における観測項目。

| 地点 | 水系 | 流域面積(km ²) | 観測項目 |
|-------|-----|------------------------|-----------|
| 枚方 | 淀川 | 6558.2 | 水位 (暫定流量) |
| 高浜 | 淀川 | 6432.7 | 水位 (暫定流量) |
| 八幡 | 木津川 | 1662.2 | 水位 (暫定流量) |
| 飯岡 | 木津川 | 1589.1 | 水位 (暫定流量) |
| 加茂 | 木津川 | 1469.4 | 水位 (暫定流量) |
| 有市 | 木津川 | 1194.2 | 水位 (暫定流量) |
| 家野 | 木津川 | 475.8 | 水位 (暫定流量) |
| 上名張 | 木津川 | 190.8 | 水位 (暫定流量) |
| 依那古 | 木津川 | 175.4 | 水位 (暫定流量) |
| 佐那具 | 木津川 | 157.4 | 水位 (暫定流量) |
| 納所 | 桂川 | 1114.2 | 水位 (暫定流量) |
| 桂 | 桂川 | 833.1 | 水位 (暫定流量) |
| 天竜寺 | 桂川 | 813.8 | 水位 (暫定流量) |
| 保津峡 | 桂川 | 671.7 | 水位 (暫定流量) |
| 亀岡 | 桂川 | 671.7 | 水位 (暫定流量) |
| 新町 | 桂川 | 540.9 | 水位 (暫定流量) |
| 淀 | 宇治川 | 3546.9 | 水位 (暫定流量) |
| 向島 | 宇治川 | 3483.6 | 水位 (暫定流量) |
| 深草 | 鴨川 | 183.2 | 水位 (暫定流量) |
| 天ヶ瀬ダム | 宇治川 | 3399.7 | 水位・流出入量 |
| 比奈知ダム | 木津川 | 75.8 | 水位・流出入量 |
| 日吉ダム | 桂川 | 283.1 | 水位・流出入量 |
| 室生ダム | 木津川 | 134.9 | 水位・流出入量 |
| 布目ダム | 木津川 | 78.6 | 水位・流出入量 |
| 瀬田川洗堰 | 宇治川 | 3046.2 | 水位・流出入量 |
| 青連寺ダム | 木津川 | 100.7 | 水位・流出入量 |
| 高山ダム | 木津川 | 631.2 | 水位・流出入量 |

オンラインで取り込み、防災・報道・農業・運輸・エネルギー開発など、様々な利用者への気象情報提供を行っているシステムである。1977年から運用が開始され、天気予報に MICOS システムが利用されている。MICOS で取り扱う気象データは、アメダス、ひまわり等、数十種類に及んでいる。その中で、ここでは以下の4種類の降雨予測データを用い、これらを合成して最大51時間先までの予測降雨データを作成する。

レーダーアメダス解析雨量

気象レーダーによる推定雨量をアメダス地上雨量によって補正した空間分解能2.5km×2.5kmの実況雨量情報であり、10分間隔で作成され実時間で配信される。

超短時間降水予測

画像処理技術と移流モデルとを組み合わせた運動学的手法による空間分解能2.5km×2.5kmの予測降雨情報であり、3時間先までの予測データが10分間隔で作成・配信されている。

気象庁降水短時間予測

気象庁メソ数値予報モデルによる空間分解能5km×5km予測降雨情報であり、6時間先までの予測データが1時間間隔で作成・配信されている。

気象協会メッシュ予測

(財)日本気象協会による局地気象モデルによる空間分解能5km×5kmの予測降雨情報であり、1時間間隔で51時間先までの予測データが作成されている。配信されるのは毎日2回(3時頃, 15時頃)である。

3.2 実時間流出予測計算の手順

実時間流出予測計算の全体の手順を Fig. 6 に示す。以下、各項目について説明する。

(1) 初期値および計算開始時刻の設定

たとえば、午前10時を現在時刻とし、この時間から予測計算を開始することを考える。この場

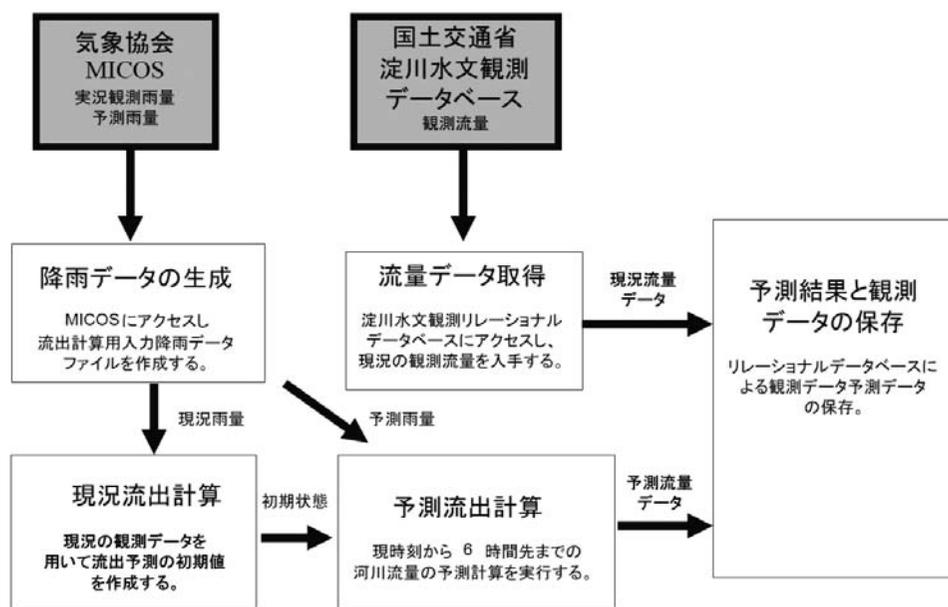


Fig. 6 実時間流出予測計算の全体手順。

合、まず午前9時の観測河川流量を用いて、流出モデルの初期状態（すべての斜面および河道の計算差分ノードにおける水深）を決定する。初期状態は定常状態を仮定し、すべての地点での流出高が等しいとして決定する。定常状態を仮定するために、通常は、無降雨が続いた時点を初期計算時刻とする。

(2) 現況および予測降雨データの作成

Table 3に流出予測計算で用いる雨量実況・予測データをまとめて示す。これらの雨量データは緯経度座標系で整備されている。一方、流出予測システムはUTM座標系で構築されている。そこで雨量データの中心格子位置をUTM座標に変換し、次に流出システムで用いられているUTM座標系の格子（東西46個、南北66個の2.5km×2.5kmの格子）に最も近い雨量データの値を、その格子の雨量データとした。すべての雨量データをこのように座標変換した後で、

- 1時間前～現在時刻（レーダーアメダス解析雨量）
- 現在時刻～3時間先（超短時間降水予測）

- 3時間～6時間先（気象庁降水短時間予測）
- 6時間～51時間先（気象協会メッシュ予測）

の4種類の降雨データを合成し、流出予測システムへの入力雨量データセットを作成する。雨量データの合成は1時間ごとに自動的に行う。

Table 4に午前10時を現在時刻として、雨量データを合成する例を示す。なお、マイコスデータでは欠測値は999.9 (mm/h)となっており、雨量データ合成時にこれを0.0 (mm/h)に置き換える。

(3) 現況蒸発散量データの作成

アメダス観測点の気温、日照時間、風速および気象官署における水蒸気圧を毎時得て、現況・予測降雨データと同じ2.5km四方の格子を設定し、各格子に最も近いそれらの値をその格子での気象要素の値とする。気温はその格子での標高値をもとに補正する。次に、熱収支法¹⁰⁾を用いて格子毎に1時間分の蒸発散量を計算する。

(4) 現況流出計算

以上の準備をもとに現況流出計算を実施する。実時間流出計算の予測サイクルをFig. 7に示す。

(1)で流出予測モデルの初期水深を得たら、(2)の現況雨量データおよび(3)の現況蒸発散量データを用いて1時間前から現在時刻まで現況流出計算を実行する。(1)の例に続けば、午前9時~10時の間の現況雨量と現況蒸発散量を入力データとして流出計算を実行し、現在時刻(午前10時)のモデル状態量を得る。この状態が予測流出計算の初期条件となる。

実況雨量データを入手できるのは、通常毎時8分以降であるため、時間的な余裕を持たせて毎時15分に雨量合成データの作成と流出計算を開始する。流出計算に数分程度要するため、10時の現況計算流量が得られるのは10時20分頃となる。実際のシステム運用では、実況雨量データの配信が遅れることがある。この観測システムの時間遅れに対応するために、実況雨量データは、毎時15分、

35分、55分の3回に取得する機会を与え、既に実況雨量データが取得済みの場合、以降の作業は実施しないようにする。例えば、10時15分に実況雨量データが取得できれば、35分と55分にはデータ取得および流出計算は行わない。

(5) 予測流出計算

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。このために現況流出計算で得られた計算終了時点での状態量記録ファイルを予測計算用の初期状態ファイルとして用いる。雨量は(2)で示した予測降雨データを用い、蒸発散量は(3)で得た現況の推定値が6時間先まで同じ値であるとして予測計算に用いる。

Table 3 流出予測計算で用いる現況および予測雨量データ。

| データ種別 | 内容 | 格子間隔 | 送信時刻 |
|------------|---------------------------------|----------|--|
| 超短時間降水予測 | 実況値+180分後までの予測値 (10分間隔, 19個) | 約 2.5 km | 10分間隔, 毎時 8 分頃 (8分遅れ) |
| 気象庁降水短時間予測 | 実況値+6時間後までの予測値 (1時間間隔, 7個) | 約 5 km | 30分間隔, 毎時20分と50分頃 (20分遅れ) |
| 気象協会メッシュ予測 | 実況値+51時間後までの予測値 (1時間間隔, 52個) | 約 5 km | 9時から51時間先, 毎日15時頃 21時から51時間先, 毎日3時頃 |

Table 4 雨量データの合成による入力雨量データの作成。
午前10における雨量データの合成例を示す。

| 実況データ (過去1時間分) | | |
|--|--------------|--|
| 9時00分の実況値 : 10時00分の実況値 | レーダーアメダス解析雨量 | 時間分解能10分 空間分解能2.5km 格子の UTM 座標に変換 (最近傍点を選択) |
| 予測データ (気象協会メッシュ予測の最終時刻 (最大51時間先) の予測データまで) | | |
| 10時10分の子測値 : 13時00分の子測値 | 超短時間降水予測 | 時間分解能10分 空間分解能2.5km 格子の UTM 座標系に変換 (最近傍点を選択) |
| 13時30分の子測値 : 15時30分の子測値 | 気象庁降水短時間予測 | 時間分解能1時間 空間分解能5 km を2.5km 格子の UTM 座標系に変換 (最近傍点を選択) |
| 16時の予測値 : 翌々日0時の予測値 | 気象協会メッシュ予測 | 時間分解能1時間 空間分解能5 km を2.5km 格子の UTM 座標系に変換 (最近傍点を選択) |

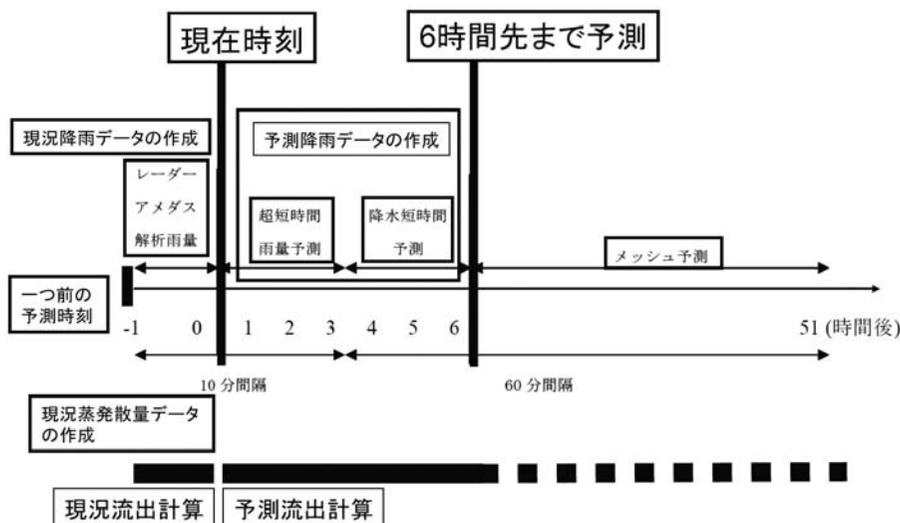


Fig. 7 実時間流出計算の予測サイクル。毎時、6時間先までの流量予測を実施する。

(6) 時間の更新

一時間分時間が経過したら、(2)に戻って実時間予測計算を繰り返す。この場合、(5)の予測計算で用いた初期状態を次の1時間分の現況流出計算の初期状態とする。

3.3 予測結果のデータベースシステムへの格納

予測計算によって得た結果をリレーショナルデータベースに格納する。ここでは、格納用のデータベースとして PostgreSQL を使い、以下の観測値および流出計算結果をデータベースシステムに時々刻々格納した。ここでは、それぞれの入力値および入力方法について説明する。

(1) 流域内の主要地点

流量観測が行われている主要19地点について、以下の項目をデータベースシステムに格納する。

- 観測流量 (速報値)
- 流域平均現況雨量
- 流域平均予測雨量
- 現況計算流量
- 予測計算流量

観測流量は、国土交通省の淀川水文観測データ

ベースによる速報値をデータベースシステムに格納する。予測流出計算は毎時6時間先まで行われるので、1時間先予測流量から6時間先予測流量まで、1時間毎に別々のテーブルに格納する。つまり、現況計算流量と予測計算結果を格納するために、合計7個のテーブルを準備する。

テーブルの構造はすべて同じで Table 5 に示す構造を持つ。各テーブルには時刻とその時刻に対応する計算流量を地点ごとに格納する。予測計算結果は、予測計算の実施時刻に対応して計算結果を格納するのではなく、予測対象時刻をキーとして計算結果を格納する。例えば、現在時刻を13時とすると、この時刻に実施した予測計算の2時間先の予測流量は2時間先の予測計算結果を格納するテーブルの15時の行に、5時間先の予測流量は5時間先の予測計算結果を格納するテーブルの18時の行に計算結果を格納する。これにより、過去に遡って予測計算の正確性を評価したいとき、それぞれのテーブルから同一の時刻を検索することによって観測流量と予測計算流量とを比較することができる。

流域平均現況雨量および流域平均予測雨量は、日本気象協会 MICOS による雨量データを用いて

Table 5 雨量・流量の現況および予測結果を格納するリレーショナルデータベースのテーブル構造。

| Year | Month | Day | Hour | Through time in second from the beginning of the year | Station ID No.248 | Station ID No.249 | ... | Station ID No.1770 |
|------|-------|-----|------|---|-------------------|-------------------|-----|--------------------|
| 2006 | 12 | 8 | 0 | 29402400 | 7.5 | 3.6 | ... | 80.2 |
| 2006 | 12 | 8 | 1 | 29466000 | 17.4 | 4.6 | ... | 78.4 |
| 2006 | 12 | 8 | 2 | 29469600 | 15.3 | 4.7 | ... | 74.3 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

対象地点上流域の流域平均雨量を計算する。計算結果を格納するテーブルは、流量計算結果と同様、現況雨量および1時間先予測流域平均雨量から6時間先予測流域平均雨量に対して1時間毎に別々のテーブルに格納するため、合計7個のテーブルを準備する。

(2) 1707箇所の部分流域の計算地点

計算結果が得られる部分流域については

- 現況計算流量
- 予測計算流量

をデータベースシステムに格納する。主要地点の流量計算と同様、現況流出計算と1時間先～6時間先までの7種類の計算結果が得られる。

(3) 8基のダムに関する観測値・予測値

天ヶ瀬ダム・室生ダム・青蓮寺ダム・高山ダム・布目ダム・比奈知ダム・日吉ダムおよび瀬田川洗堰の8つのダムを予測対象とし、以下の項目をデータベースシステムに格納する。

- 観測流入量・放流量・ダム貯水位
- 現況計算ダム流入量・ダム放流量・ダム貯水位
- 予測計算ダム流入量・ダム放流量・ダム貯水位

観測流入量・放流量は、国土交通省の淀川水文観測データベースによる速報値をデータベースシステムに格納する。計算結果は、部分流域における計算結果と同様に、現況データと6時間後までの1時間間隔の予測データを別々のテーブルに格納する。

4. リアルタイム予測情報表示システムの構築

4.1 情報ネットワークの構成

情報ネットワークの全体構成を Fig. 8 に示す。雨量・流量データを取得するため、国土交通省の光ファイバーネットワークおよび気象協会ネットワークを研究室内部の内部情報ネットワークと結ぶ。内部ネットワークは外部からの進入を許さない一方通行のネットワークである。国土交通省ネットワークに関しては、セキュリティをさらに高めるために内部ネットワークとの間にさらにファイアーウォールを設置し、一方通行での情報通信しか許さないようにしている。

4.2 リアルタイム予測情報表示システムの構築

広域実時間流出予測システムの予測結果をインターネット上で閲覧することを可能とするリアルタイム予測結果表示システムを構築する。観測結果および予測計算結果は3.3で示したようにリレーショナルデータベースシステムに格納される。予測結果表示システムは、利用者が設定した表示条件をもとにこのデータベースシステムにアクセスし、利用者が望む予測結果をウェブブラウザ上に表示できるように設計した。これにより、予測システムを一元的に管理し、情報ネットワークに接続する任意の計算機から予測結果を閲覧することが可能となった。つまり流域一体とした実時間予測システムを運用し、流域内で関心のある任意の地点を選択して、その予測内容を表示することが可能となっている。

現在、開発している表示内容は下記の4種類で

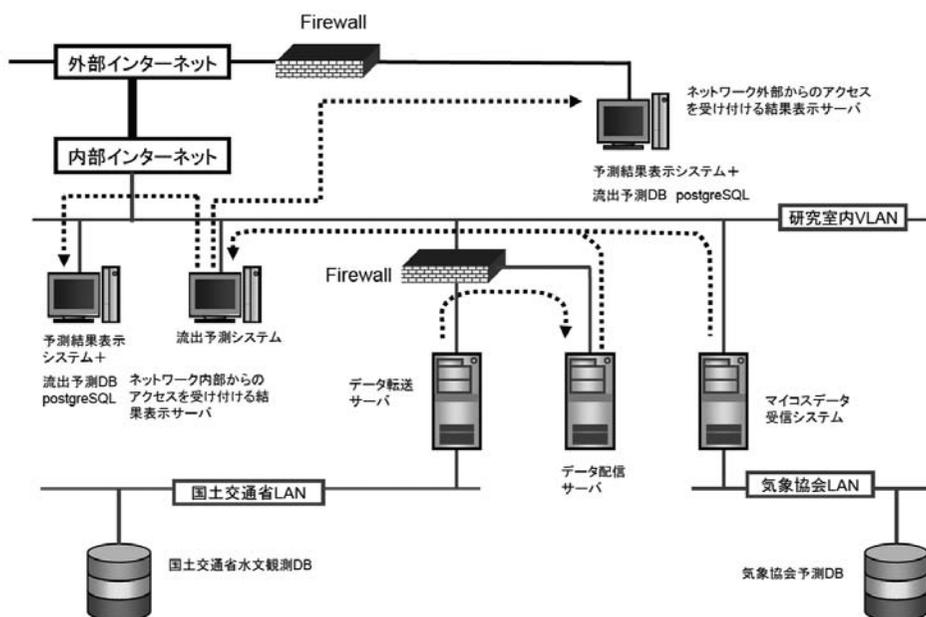


Fig. 8 実時間流出予測システムを構成する情報ネットワークの全体構成。

あり、<http://yodogawa.dpri.kyoto-u.ac.jp/> を通して実時間で予測情報を閲覧することができる。これらは、それぞれ 1) 雨量・河川流量の現況と予測結果の面的な把握、2) 雨量・河川流量の現況と予測結果の地点ごとの時系列的な把握、3) 予測結果の検証、4) 雨量・河川流量の現況と予測結果の常時モニタリング、を目的として表示システムを設計した。

(1) 現況・予測雨量，現況・予測河川流量マップの動画表示 (Fig. 9)

雨量・河川流量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流量の現況値・予測値の空間的な変化を動画で表示する。これにより、雨域の移動とともに河川流量の変動を容易に視覚的に把握することができる。

(2) 地点別の予測結果の時系列表示

雨量・河川流量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流量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。Fig. 9の画面から選択表示することができる。

(3) 地点別の予測結果検証用の時系列表示

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時間先の予測流量の計算結果および観測流量を重ねてグラフ表示する。また、流量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流量の予測の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Fig. 9の画面から選択表示することができる。

(4) 自動更新表示 (Fig. 10)

雨量・河川流量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流量の2次元的な動画と、主要地点の予測流域平均ハイトグラフとハ

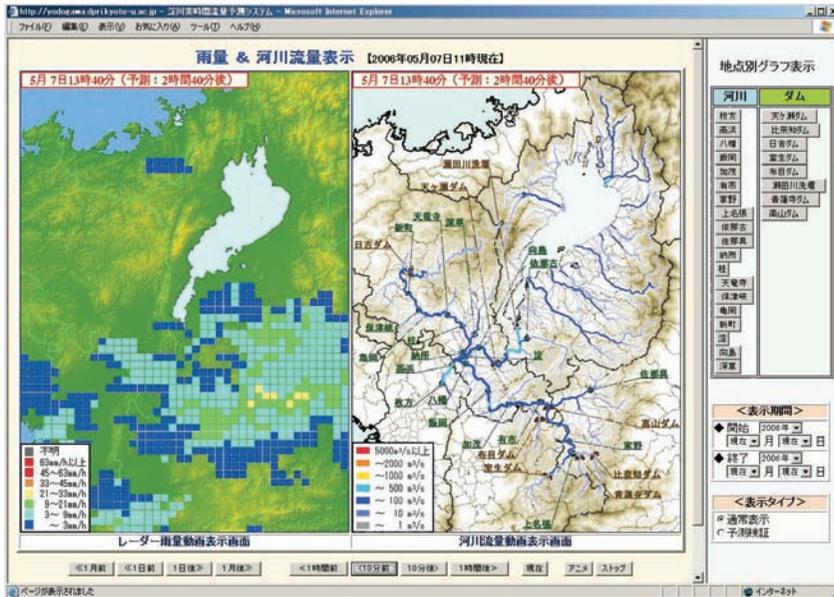


Fig. 9 雨量・河川流量の予測結果を面的に表示するインターネット画面。左画面に現況および予測による雨域の移動が動画で示され、右画面には、雨域の移動と同期して河川流量の現況および予測の空間的な変動が示される。右の観測地点ボタンを押すことによりその地点でのハイドログラフとハイトグラフが表示される。

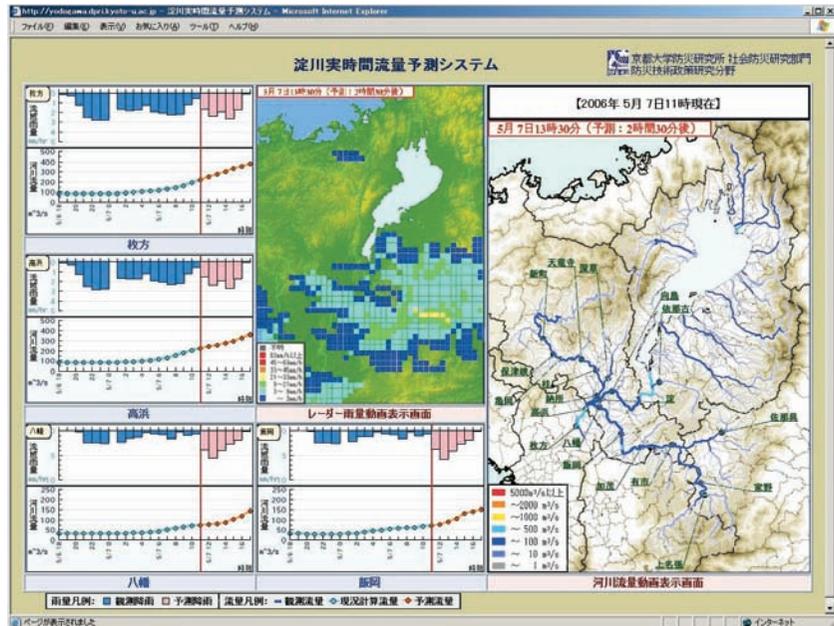


Fig. 10 雨量・河川流量の予測結果を時々刻々、自動的に表示するインターネット画面。現況および予測の雨域の移動、それと同期した河川流量の空間的な変動とともに主要流量観測地点における雨量・流量の時系列情報が示される。時系列情報は一定時間間隔ごとに対象地点が入れ替わり、全体の予測内容が把握できるようにしている。

イドログラフである。この画面は、河川管理者が降雨および河川流量の現況・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。

5. 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が極めて重要な課題となっている。これを実現するために、広域分布型流出予測モデルをエンジンとするリアルタイム高度水防災情報提供システムを開発した。また、実際に淀川流域(枚方上流域7,281 km²)をデモンストレーション流域とする実時間予測システムを開発し、予測結果の公開を含めた試験運用を実施している。

実時間水文気象情報としては、国土交通省淀川河川事務所と京都大学防災研究所との間に敷設された光ファイバー情報網を通して収集される現況水文情報、および(財)日本気象協会を通じて提供される現況気象情報・降水予測情報を用いた。また、これらの観測・予測結果を効果的に表示するために、インターネット技術を用いたインタラクティブな予測情報表示システムを構築した。

基本的な実時間流出予測システムの枠組みは実現した。今後の研究課題として、実時間で観測される河川流量情報およびダム放流量・流入量・ダム水位を用いたモデル状態量の同化・初期値化サブシステムの導入がある。また、予測システムを通年で運用して時々刻々、予測値の精度とダム流況制御モデルの妥当性を検証する必要がある。さらに、実際に中小河川流域における予測システムとして実用化していくためには、予測流量の水位情報への変換や地域に特化した情報表示システムの開発を図る必要がある。

謝 辞

本研究は平成16-18年度京都大学防災研究所特定共同研究(代表:中川一),平成17-18年度 国

土交通省建設技術研究開発費補助金(代表:立川康人)および平成18年度京都大学防災研究所防災研究推進特別事業経費(代表:立川康人)の補助を得た。国土交通省淀川河川事務所からは、光ファイバーケーブルを通して水文観測情報データベースにアクセスすることにより、実時間で水文観測データの提供を受けている。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省:豪雨災害対策緊急アクションプラン,平成16年12月10日,2004.
- 2) 佐山敬洋・立川康人・寶 馨・市川温:広域分布型流出予測システムの開発とダム群治水効果の評価,土木学会論文集, No. 803/II-73, pp. 13-27, 2005.
- 3) 佐山敬洋・菅野浩樹・立川康人・寶 馨:ダム群操作過程を考慮する広域分布型流出予測システムを用いた淀川流域の治水安全度評価,水工学論文集, vol. 50, pp. 601-606, 2006.
- 4) 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.
- 5) 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, 142pp, 1998.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 高棹琢馬・椎葉充晴・市川温:構造的モデリングシステムを用いた流出シミュレーション,水工学論文集, 第39巻, pp. 141-146, 1995.
- 9) 市川温:分布型流域流出系モデルの構成と集中化に関する研究,京都大学博士論文, 2001.
- 10) 近藤純正:水環境の気象学,朝倉書店, 1994.

(投稿受理:平成18年12月19日)

訂正稿受理:平成19年6月14日)