

レーダ雨量を用いた分布型流出モデルによる 洪水予測システムの現状

FLOOD FORECASTING SYSTEM THAT USES RADAR RAIN DATA AND DISTRIBUTED RUNOFF MODEL

荒木千博¹・米勢嘉智²

Kazuhiro ARAKI and Yoshitomo YONESE

¹正会員 工修 (株) 建設技術研究所 水システム部 (〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町3-21-1)

² 工修 (株) 建設技術研究所 水システム部 (〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町3-21-1)

Integrated River Information System allows real-time access to flood prevention related information, such as ground rainfall, water levels, and radar rain data. As for radar rain data, the system provides a high precision real-time data as well as predicted rainfall data. On the other hand, various distributed runoff models have been developed to date for flood forecasting. Recently, advances in data processing abilities and easier access to real-time radar rain data have advanced field application of distributed models for flood forecasting.

Foundation of River & Basin Integrated Communications has developed for many rivers flood forecasting systems that use radar rain data from Integrated River Information System and distributed runoff models that consider physical characteristics of the basin by incorporating topographic conditions and hydraulic phenomena.

Key Words : flood forecasting, distributed runoff model, radar rain gauge, Integrated River Information System

1. はじめに

統一河川情報システムより、地上雨量、河川水位及びレーダ雨量などの水防上重要な情報をリアルタイムで入手できる環境が整ってきた。レーダ雨量に関しては、高精度の実況値の他、予測降雨についても同システムから配信されている。一方、洪水予測に用いる流出モデルについては、さまざまな分布型流出モデルが開発されてきたが、河川管理の現場に適用された事例は少なかった。しかしながら近年、計算機処理能力の向上やレーダ雨量のリアルタイムでの取得が可能になったことにより、分布型流出モデルを用いた洪水予測システムが現場でも適用され始めている。(財)河川情報センターでは、地形条件や水理的な現象をモデル内に表現して流域の物理的な特性を考慮できる分布型流出モデルと統一河川情報システム内のレーダ雨量等を用いた洪水予測システムを多くの河川で構築しており、この現状について報告する。

2. 分布型モデルによる洪水予測システムの概要

本システムは図-1 に示す通り、流域をメッシュ単位

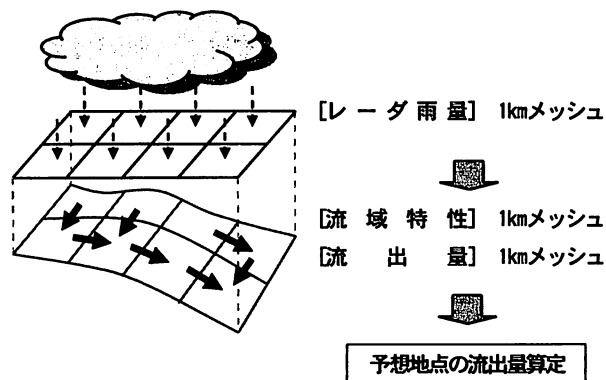


図-1 分布型流出モデルによる洪水予測システム

に分割し、各メッシュにレーダ雨量計で観測した高精度の雨量分布および予測雨量を与え、分布型流出モデルによる流出解析を行うことにより、時空間的に高精度の洪水予測を可能としたシステムである。

主な特長を(1)～(3)に示す。

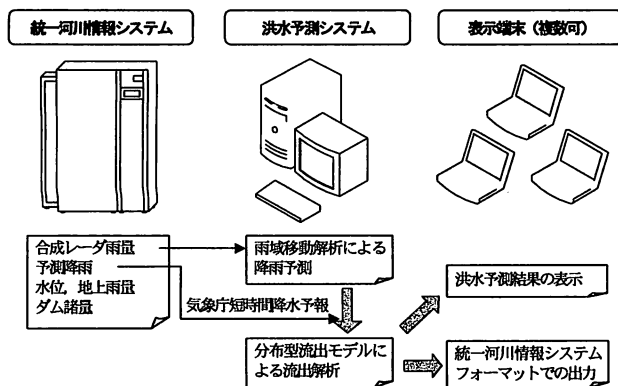


図-2 洪水予測システムの構成

表-1 統一河川情報システムから配信されるデータ¹⁾

		レーダ情報										テレメータ										観音	水位
		国交省					気象庁					雨量					他所管	流域平均					
		現況	累加	履歴	予測 (移動解析)	予測	現況	予測	予測	予測	予測	河川局	気象庁	道路局	都道府県								
固定端末版	統一河川情報システム (管理者向け)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	現行 川の防災情報	○		○																	○		
	新 川の防災情報 (統一ベース)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		

		テレメータ										干渉情報					気象情報					津波情報
		流量	都道府県水位	水質	ダム諸量	堤防諸量	洪水危険諸量	気象	超過一覽	水防警報	洪水予報	ダム放流通知	警報・注意報	天気図	台風情報	地震情報						
固定端末版	統一河川情報システム (管理者向け)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
	現行 川の防災情報			○	○					○	○	○	○	○	○	○	○					
	新 川の防災情報 (統一ベース)		○	○	○					○	○	○										

(1) 統一河川情報システムの活用

本洪水予測システムは、図-2 に示すとおり、統一河川情報システムから配信される高精度の全国合成レーダ雨量および水位など洪水予測に必要な水文情報を利用している。表-1は、統一河川情報システムが配信している情報である。

また、本システムを実運用するための機器仕様の例を表-2 に示す。本システムは、処理速度の優れたパーソナルコンピュータを必要とするもののMicrosoft社のOS及びデータベースにより構築されており、導入が容易な構成である。

(2) 高精度な降雨予測

リアルタイムで得られる全国合成レーダ雨量を基に、本システム内において雨域移動解析を行い、10分間隔で3時間先までの降雨分布予測を短時間で計算できる。

(3) 流出解析の精度向上

地形、植生、土地利用、表層土壌、地質など流出過程に影響を及ぼす流域特有の物理的な条件を1kmメッシュ単位で設定し、浸透、表面流、中間流、地下水流出などの物理的な流出機構を表現できる分布型流出モデルを構築し、流出予測に用いている。

表-2 分布型洪水予測システムの実運用機器仕様の例

	仕様
OS	Microsoft Windows Server 2003
構造	ラック型
CPU	Intel Xeon3.0GHz以上×2構成
主メモリ	2GB以上
HDD	実行論理容量300GB以上 (10,000回転以上 RAID1構成)
メディア装置	CD-ROM 24倍速 以上 × 1, 内蔵型
外部インターフェース	10/100BASE-TX×1以上 (統一河川情報取得及びWEBサーバ機能に必要な数) USB2.0×2以上 RGB出力ポート 等
電源	AC100V
外部メディア	テープ装置、外付けハードディスク等の必要機器
周辺機器	UPS(無停電電源装置) 等
データベース	Microsoft SQL server2005std.

表-3 分布型流出モデルの構造

モデル		水文課程	諸元に影響する項目
表面流下モデル		表面流をモデル化	土地利用情報*1
地層流下モデル	表層	表層内流出をモデル化	植生情報*2
	中間層	中間流出をモデル化	土壌分類*1
	地下層	地下水流出をモデル化	表層地質分類*1
河道流下モデル		河道の流下をモデル化	河道断面 河道粗度

*1：国土数値地図情報を用いる

*2：自然環境保全基礎調査植生調査を用いる

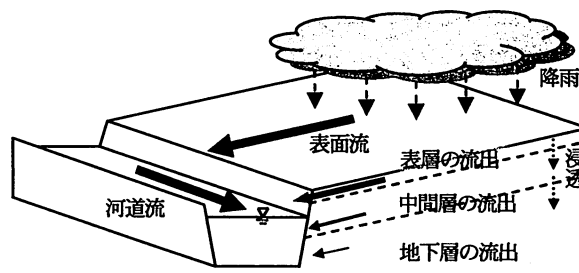


図-3 分布型モデルの構造図

3. 分布型流出モデルの構築

(1) モデル構造

本システムの分布型流出モデルの構造を表-3 及び図-3 に示す。このモデルは、できるだけ流出過程の物理的な現象をモデル内に表現し、メッシュ単位で地形や土地利用、地質などの流域特性を考慮している。また、無降雨期においても水分量の移動を解析できるため、洪水生起前の土壌水分量の分布が予測可能である。よって、様々な降雨の時空間的な分布に対して、一定のモデル定数を用いて安定した高精度な解析が可能である。

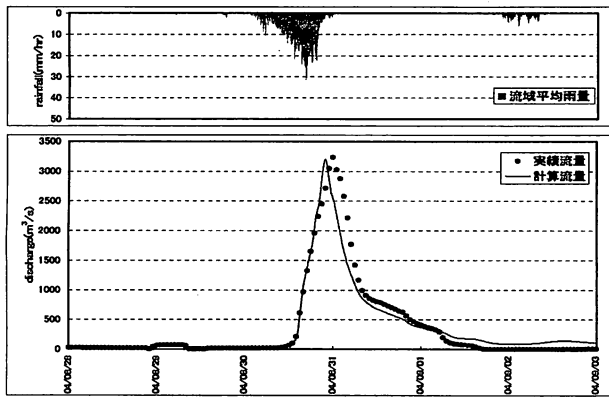


図-4 流出モデルによる流量再現例

(2) 基礎式

計算単位メッシュは、レーダ雨量や国土数値地図情報と同じ第3次地域区画で、ほぼ1kmメッシュである。メッシュ内を鉛直方向の複数層の流れと河道でモデル化し、表面流下モデルと河道流下はKinematic Wave法、地層流下モデルはDarcy則により表現した。

それぞれに用いる定数、層厚等はメッシュ毎の土地利用、植生、土壌、地質などから検証計算により決定する。各モデルは連続式と運動方程式から構成される。

$$\text{連続式: } \gamma \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r \text{ 層内} \quad : \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r \text{ 表面流} \quad (1)$$

$$\text{運動式(表面,河道): } q = \alpha \cdot h^m \text{ (Kinematic Wave法)} \quad (2)$$

$$\text{運動式(地下流): } q = h k \sin \theta \text{ (Darcy則)} \quad (3)$$

ここに、 q : 流量、 t : 時間、 h : 水深、 x : 位置、 r : 雨量(横流入量)、 γ : 有効空隙率、 k : 透水係数、 $\sin \theta$: 勾配、 α, m : 定数である。

(3) 解析事例

分布型流出モデルの解析事例を図-4に示す。ピーク流量、波形ともに良好に再現している。また、洪水生起前の基底流量の再現性も高い。

4. 降雨予測

(1) 降雨予測データ

図-5に降雨予測のフローを示す。統一河川情報システムから国土交通省合成レーダ雨量の現況・過去雨量を受信し、本システム内で3時間先までの降雨予測を短時間で行っている。これを移動解析雨量という。また、3時間以降6時間先までは、統一河川情報システムから配信される気象庁降水短時間予報を用いている。

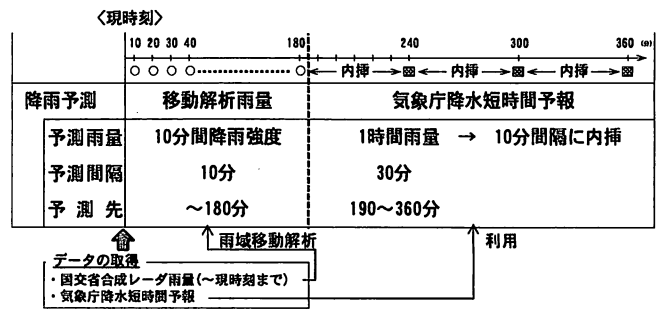


図-5 レーダ雨量データの取得と降雨予測

(2) 雨域移動解析

3時間先までの予測には、移流モデル²⁾による雨域移動解析手法を用いている。この手法は、ある地上の点(x, y)における時刻 t の降雨強度分布を $Z(x, y, t)$ と表し、 Z は以下の移流方程式に従うものとして降雨域の移動ベクトルを求め、1～3時間先までの予測雨量を算出するものである。

$$\begin{aligned} \frac{\partial Z}{\partial t} + u \frac{\partial Z}{\partial x} + v \frac{\partial Z}{\partial y} &= w & u &= C_1 x + C_2 y + C_3 \\ & & v &= C_4 x + C_5 y + C_6 \\ & & w &= C_7 x + C_8 y + C_9 \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 u, v は移動ベクトル、 w は発達・衰弱項である。 $C_1 \sim C_9$ は現在までのデータから推定するパラメータである。

予測の際には、算定された流線に沿って予測時刻の雨量を算出する。

5. 洪水流量の実時間予測演算

モデルによる計算流量と観測流量とは一致しないことが多い。そのままの状態では洪水流量の予測を継続すると、必ずしも良好な予測結果を得ることができない。そこで、予測時点において次頁の図-6のフローの手順に従い、計算流量が観測流量に一致するように状態量の補正(フィードバック処理)を行う。本分布型モデルにおいては、中間層の水分量が計算流出量に及ぼす影響が大きいと考え、補正する状態量を中間層の水分量とした。

補正処理の反復計算では、次頁の図-7に示すとおり、現時刻から時間を遡って実測の降雨データを用いて再計算し、現時刻における計算結果が実績流量と一致するように状態量を補正した上で、予測計算に備える。

なお、流量観測地点上流の全てのメッシュに対して、一律に中間層の水分量を補正している。

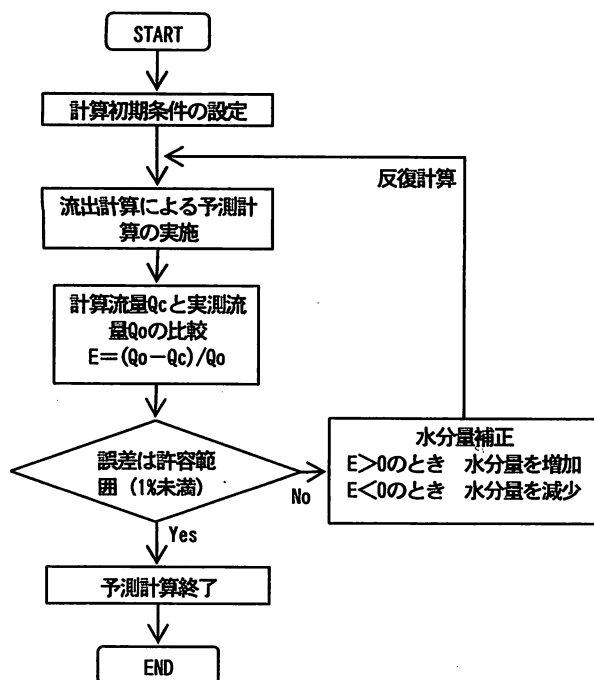


図-6 中間層の水分量の補正

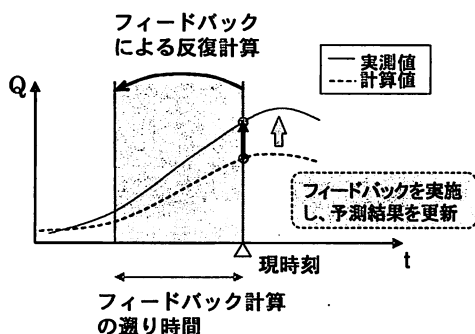


図-7 補正処理（フィードバック）における反復計算

6. 洪水予測システムの構築

(1) 洪水予測システムの機能

本システムは、前述までの主要機能の他に以下の機能を有している。

a) 予測雨量のバックアップ機能

トラブルによりレーダ雨量が欠測の場合、現時刻の「地上雨量計+ティーセン分割」を用いて雨量データを作成できる。また、予測雨量として移動解析雨量に代わり降水短時間予報への切り替えが可能である。加えてユーザーがシステムインターフェイスから予測雨量を入力することも可能である。

b) 統一河川情報システムとの連携

洪水予測に必要なレーダ雨量や観測流量データを統一河川情報システムから取得するとともに、本システムで計算した洪水予測結果を統一河川情報システムフォーマットで出力している。これにより、統一河川情報システムが洪水予測結果を外部に配信でき、洪水予報結果を関係自治体で活用することが可能となる。

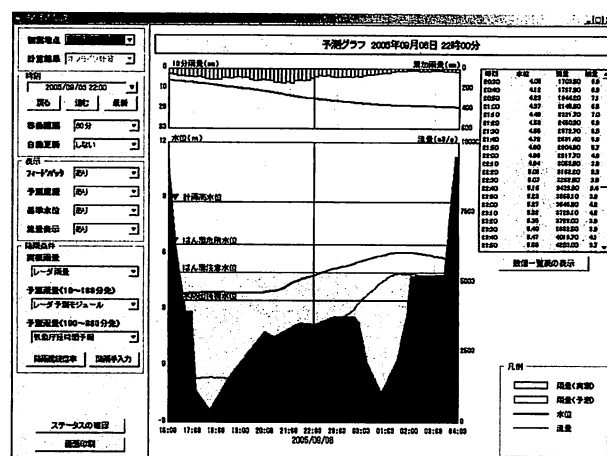


図-8 地点別の予測水位・流量表示画面の例

(2) 洪水予測システムのインターフェイス

システムインターフェイスの例として、特定地点の予測結果の表示画面を図-8に示す。この他、予測地点の水位・流量予測グラフ一覧表示、現況および予測雨量の空間分布表示などを行うことができる。

7. おわりに

(1) 本システムの今後の展開

本稿では、高精度の国交省レーダ雨量と全国の水文観測データをリアルタイムで入手できる統一河川情報システムを最大限に活用し、河川管理者の現場で実運用されている最新の洪水予測システムの現状について報告した。雨量の時空間的な分布を予測し、それを用いて流域内における任意地点の水位流量予測が可能となっている。今後、降雨予測および流出量予測手法の改良により、洪水予測精度はますます向上していくことが期待できる。

また、分布型流出モデルは、年間を通じた流出機構を表現できるモデルである。よって、今後は低水管理への拡張も期待できる。

(2) 分布型流出モデルの課題

本システムの分布型流出モデルは、有するモデル定数が多く最適値の組み合わせを設定することに労力を有する。土地利用や土壌、地質などの流域の物理的特性と定数の標準的な関係を明確にしモデル構築を容易とするために、多くの流域での適用を行うことが望ましい。

参考文献

- 1) 佐藤宏明：平成18年度河川情報シンポジウム，講演集，pp. 3-1，2006.
- 2) 椎葉，高棹，中北：移流モデルによる短時間降雨予測手法の検討，第28回水理講演会論文集，pp. 349-354，1984.

(2008. 4. 3受付)