

洪水時における効率的ダム運用と下流危機管理のための

災害総合シナリオ・シミュレータの開発*

Development of comprehensive scenario simulator for effective flood control and risk management of downstream basin of a dam in floods *

片田敏孝**・桑沢敬行***・細井教平****

By Toshitaka KATADA **・Noriyuki KUWASAWA*** and Kyohei HOSOI ****

1. はじめに

近年、日本各地において集中豪雨が増加しており、その規模も大きくなっている。これにより、洪水調節機能を有するダムでは、集中豪雨を想定した危機管理を実施する機会が増加する傾向にあり、豪雨災害時、放流量を調節することで、ダム下流域の洪水被害リスクを低減させている。その能力を安全かつ効率的に機能させ、下流域住民の被害の最小化を図るためには、ダムへの流入や下流河道の流量のみならず、下流域の浸水状況、住民の避難行動や災害情報の伝達方法も鑑みた上で、ダムの運用を検討することが重要である。

そこで本研究では、ダムの洪水調節効果を評価し、下流域住民の被害最小化を図ることを目的として、ダム上流域からダムへの流入、ダム操作、河道、ダム下流域の浸水状況、災害情報伝達や住民の避難行動といった洪水時の一連のダム運用と下流域の状況を統合して表現するダム危機管理シミュレータを開発した。本シミュレータは、降雨、ダム操作、河川氾濫の状況を表現するモデルに加えて、情報伝達、住民避難といった住民の災害時の状況を表現するモデルによって構成されており、降雨条件、ダム運用規則、情報伝達のタイミングなどの様々なシナリオを想定することにより、人的被害の最小化を目的としたダムの効率的な運用や、下流域の危機管理戦略に関する検討が可能である。また、流域住民へのダムの洪水調節機能の効果に関する正しい知識と理解を促すためのツールとしても活用することができる。

2. ダムシミュレータの必要性

近年の気象変動は我が国の降水現象にも影響を与え、集中豪雨や台風が大規模化、頻発化しており、ダムの運用においても、集中豪雨を想定した洪水調節を実施する場面が増加している。そのような状況のなか、ダムの洪水調節機能を最大限に発揮し、下流域住民の安全を確保するためには、計画規模を上回る洪水の発生やダム下流域での洪水被害の発生などを想定した検討が必要である。さらに、下流域の人的被害の最小化を念頭におくならば、ダムの操作規則に加え、住民への情報伝達、下流自治体との連携や緊急時における住民の避難誘導等を検討しておくことも重要である。そのためには、ダム本体や河道内のみならず、下流域の浸水状況や情報伝達、住民の避難行動なども含めたかたちでダムの効率的な危機管理の方策を総合的に検討することが重要である。また、下流域の自治体においても、ダムの操作やダムからの警報の伝達等のダムの運用状況を反映した危機管理戦略を事前に検討しておくことは重要である。

また、河川、洪水氾濫に対する知識の欠如などの理由から、洪水時に適切なダム運用や下流域に対する警報の伝達が行われたとしても、下流域の住民によっては避難行動などの適切な対応行動が行われない場合が考えられる。住民が適切な対応行動を実施するためには、ダムの運用、洪水調節機能や災害情報に関する正しい知識を持つことが重要であり、ダム下流域において人的被害を発生させないためには、下流住民とのリスク・コミュニケーション等を通じて、ダムに関する正しい知識と理解を啓発していくことが重要である。

以上の考察から、本研究ではダム運用の効率化と下流住民の避難計画の高度化を支援するツールとして、降雨状況、ダム、河道、河川氾濫や住民などを表現し、その中に見られる種々の問題を時間的、空間的に分析することが可能なシミュレーション技術が有用であると考えた。さらに、分析した結果を、アニメーションなどで表現することで、流域住民へのダムの運用や洪水調節機能の効果に関する正しい知識と理解を促すためにも活用することができると考えられる。

*キーワード：河川・水資源計画、防災計画

**正員、工博、群馬大学大学院工学研究科社会環境デザイン工学専攻
(群馬県桐生市天神町1-5-1、TEL0277-30-1651、
FAX0277-30-1601)

***正員、博(工)、(株)IDA 社会技術研究所
(群馬県高崎市片岡町三丁目1番6号、
TEL027-345-6633、FAX027-345-6639)

****正員、修(工)、(株)IDA 社会技術研究所

3. ダムシミュレータシステムの開発

筆者らは、効果的なダム運用やダム下流域の危機管理の検討のために、降雨、ダム、河川、氾濫という豪雨災害時の状況と下流域住民への情報伝達、避難行動の状況を総合的に表現することのできるシミュレータシステムを開発した。本シミュレータは洪水時の状況とダム下流域における豪雨災害の一連の動きを表現するために、流出モデル、ダムモデル、河川モデル、氾濫モデル、情報伝達モデル、住民避難モデル、被害発生モデルの7つのシミュレーションモデルによって構成されている。シミュレーションシステムの構成を図-1に、各モデルの主な入力パラメータと出力結果を表-1に示す。

まず、流出モデルで実績降雨量や想定降雨量などの降雨条件をもとに、上流域の降雨がダムや河川に流出する状況が表現され、推計される流出量をもとにダムモデルによってダムによる洪水調節や警報伝達を表現する。次に、ダムモデルによって算出されたダムからの放流量から、河川モデルで河川水位や流量を推計し、推計された水位・流量を用いて堤内地氾濫モデルで洪水が発生した場合での氾濫の状況が表現される。また、ダムモデルで設定された警報伝達タイミングをもとに、災害情報モデルによって住民に伝達され、住民避難モデルによって住民の避難の状況が表現される。これらのモデルによって表現された洪水氾濫の状況と住民分布状況の関係から、洪水被害発生モデルで被害の判定を行い、人的被害量が推計される。

以下では、ダム危機管理シミュレーションシステムを構成する各モデルの概要について示す。

(1) 流出解析モデル

ダム上流域の降雨がダムや河川に流出する状況を表現するためのモデルであり、一価関数による貯留関数法¹⁾による流出解析モデルを用いた。流入高は数値積分を用いて流域平均雨量などから算出し、流出量の計算は有効降雨を考慮するために、一次流出率、飽和流出率、流出高、流域面積などから流出量を算出する。本モデルの入力情報は、降雨条件であり、検討の際には降雨量の実測値を用いて再現したり、想定降雨を表現することが可能である。

(2) ダムモデル

ダムモデルでは、ダムの貯水の状況やゲートによる洪水調節の状況について表現する。ダムの貯水の状況は上流域からのダムへの流出量とゲート操作等のダム操作の状況等によって計算される放流量に基づいて算出する。また、ダムの運用・操作は対象ダムの洪水調節規定など

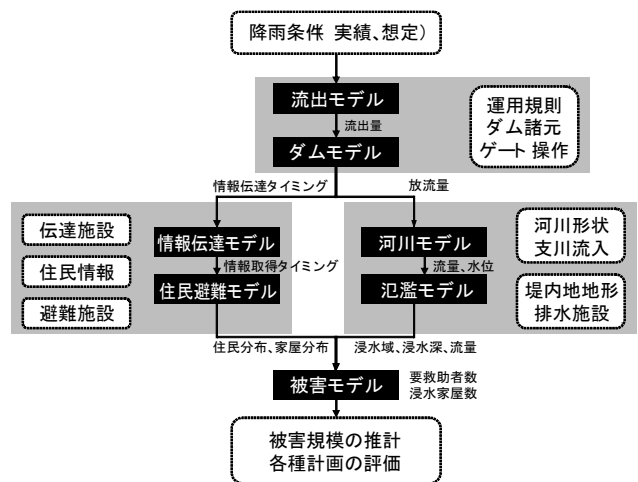


図-1 シミュレーションシステムの構成

表-1 計算モデルの入出力表

計算モデル	入力情報 設定パラメータ	出力結果
流出解析モデル	降雨条件	流出量
ダムモデル	ダムへの流入量	放流量
河道内洪水追跡モデル	河川に対する流入量	河川の流量変化、水位変化
堤内地洪水氾濫モデル	氾濫流量	氾濫域、浸水深など
情報伝達モデル	情報伝達タイミング、情報伝達方法	各住民の情報取得状況
避難行動モデル	避難開始タイミングなど	各住民の避難状況
洪水被害発生モデル	洪水氾濫状況 住民分布	被害の発生状況

に基づき設定する。洪水調節時のダムの操作はダムの運用規定などに基づき「制限水位から水位が上昇する中で一定率放流から一定量放流に移行する」「ただし書き操作を開始する」といったダムによる洪水調節の状況をゲート操作のレベルで表現し、ダムから下流河川に放流される流量を計算する。

(3) 河川モデル

河川モデルはダムからの放流や降雨の流出量、支流からの流入に基づき、ダム下流河川の任意の箇所における水位や流量の状況を表現する。入力情報は、ダムからの放流量、支流の流入、河川形状、河川粗度等である。本モデルにおける計算手法としては、一次元の不定流計算を採用した。

(4) 氾濫モデル

河川水位と堤内地の水位から計算された破堤流量が堤内地に時々刻々と広がる様子を表現するもので、本モデルでは、二次元不定流計算を用いた。破堤・越流条件

は、河川モデルの断面における水位と該当箇所の堤防高を比較し、水位が堤防高を越えた段階で破堤または越流するものとする。本シミュレータにおいては、洪水氾濫と住民の避難行動とを合わせて評価するため、計算メッシュは10m程度ものを用いる。

(5) 情報伝達モデル

放流に基づく警報や自治体からの避難勧告などの災害情報がダムの警報伝達施設や防災行政無線、広報車などを通じて住民に伝達される状況を表現するためのモデルである。また、住民間の口頭による伝達活動による災害情報が伝達も表現することができる。住民による情報伝達は、人間関係を反映した偏ったネットワークを形成すると考えられることから、本モデルでは、偏ネットワーク(Biased Net Model)²⁾と呼ばれるネットワーク形成モデルを基本構造に採用している。

(6) 住民避難モデル

災害情報を得た住民が避難施設などに向けて避難する状況を表現するモデルである。このモデルでは、避難の有無や避難準備時間など、避難行動以前の意思決定に関するシナリオについても表現することができる。また、住民の避難行動の表現には、避難者の属性や浸水に応じた避難速度の低下なども考慮するものとする。入力条件は、避難施設の配置や避難経路、情報を取得してから避難行動を開始するまでのタイミング等である。

(7) 被害発生モデル

洪水氾濫と避難者や家屋の分布から、人的・物的被害の発生状況を計算するモデルである。被害発生の判定には、氾濫流の流体力に基づく歩行困難度や家屋被害の発生を判定するモデルを採用した。

4. 計算結果表示システムの構築

ダム危機管理システムでは、降雨やダム、河川や住民などの様々な状況が表現される。本シミュレータを利用して、ダムの現状運用の評価や効率的な運用を検討するためには、想定降雨やダム操作に対する最終的な被害の発生状況を把握するだけでなく、これら全ての情報を総合的に理解する必要がある。また、分かりやすくダムの機能等を説明するためには、想定シナリオに対して時系列的に変化するこれら項目の状況や、項目間の関連について表現する必要がある。特に、専門的な知識を持たない住民等を対象とする場合には、計算結果を数値やグラフによって示すだけではなく、実際の状況を模したダムや河川のイメージで示すなど視覚的に計算結果を表現

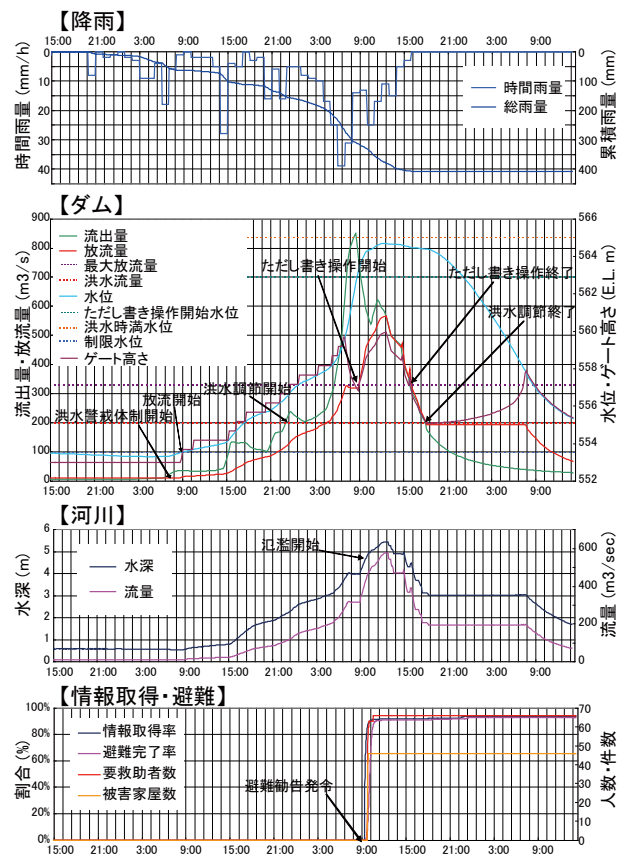


図-2 計算結果例

することが有効であると考えられる。

構築した閲覧システムでは、ダムシミュレータで設定される入力条件やシミュレータの各モデルによって推計される結果を表示する。また、計算結果表示システムで表現する計算結果は多岐にわたっているために、全ての情報をひとつの画面で表現するのは困難である。そのために、構築した閲覧システムは以下に示す4つの画面で構成した。

- ・ シナリオ説明表示画面
- ・ 計算概要表示画面
- ・ 氾濫状況表示画面
- ・ グラフ表示画面

閲覧システムは起動時にまずシナリオ説明画面が表示され、シナリオ画面の表示後は、画面選択ボタンや時間軸を持った共通フレームを表示し、シナリオ選択画面、計算概要表示画面、氾濫状況表示画面、グラフ表示画面の4つの画面を自在に遷移できるような構成とした(図-3参照)。以下に、各画面の概要を示す。

(1) シナリオ説明画面

想定する降雨条件、ダムの有無やダムの操作方法などシミュレーションに用いた主な計算条件を表示する。

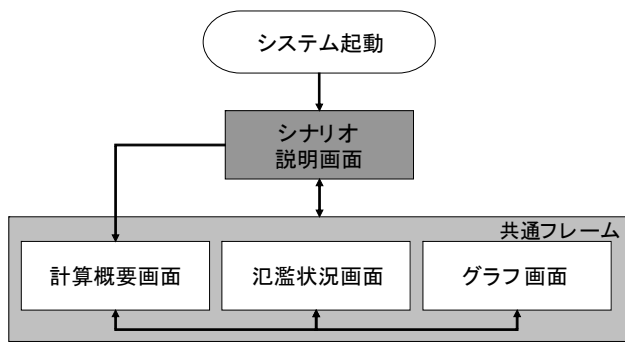


図-3 計算結果表示システムの構成

(2) 共通フレーム

計算概要画面、氾濫状況画面、グラフ画面に対して共通の時刻や操作、時間軸や起こったイベントのログ等を表示する。

(3) 計算概要画面

計算概要画面では、降雨、ダム、河川に関する計算結果の情報を模式的に表現する。本画面を閲覧することによって、住民や洪水被害以外の情報に関する全体の状況が把握できる。

(4) 氾濫状況画面

現状の氾濫域や住民の避難状況、また住民や家屋の被害状況についての情報を表現する。

(5) グラフ画面

主に計算概要画面において模式的に表現した降雨、ダム、河川に関する情報をグラフによって表現する。各種情報の時系列的な変化や複数の情報間の関連性を把握する際に利用する。

5. おわりに

本研究では、洪水時におけるダム運用の検討を始めとして、下流域の防災計画の検討や住民とのリスク・コミュニケーションなどダムに関連した危機管理に関するダム危機管理のための災害総合シナリオ・シミュレータを開発した。開発したシミュレータは、ダム管理者向けに対する洪水時における効率的なダム運用の検討や、ダム下流自治体に対するダムの影響を考慮した地域計画・地域防災計画の高度化の検討を支援するために活用することができる。さらには、ダム下流域住民に対するダムによる洪水調節効果の理解や、ダム放流時の適切な対応の理解を増進するためのツールとして活用することができると考えられる。今後は、ダムの管理者に使ってもらい、現実的な検討を実施するための改善や、ダム下流住

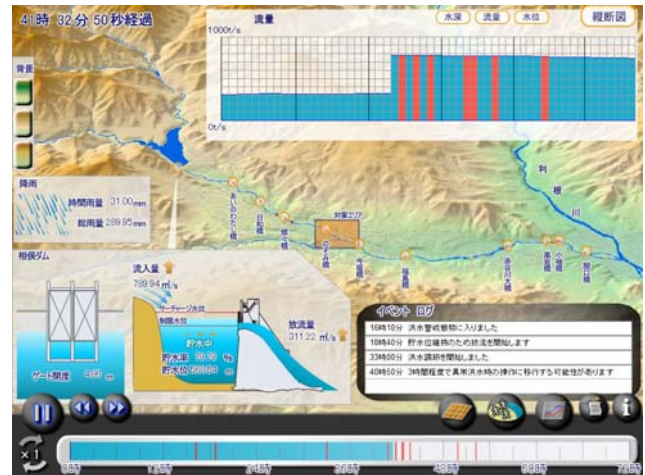


図-4 閲覧システムのイメージ

表-2 閲覧システム画面と表示項目

画面	表示項目
シナリオ説明画面	降雨シナリオ ダム操作シナリオ
共通フレーム	時刻、表示操作、再生状況 時間軸、画面切替、追加情報 イベントログ
計算概要画面	降雨状況、ダム状況 河川状況、断面状況、断面選択
氾濫状況画面	地域状況、凡例、河川状況 避難状況
グラフ表示画面	降雨状況 (グラフ) ダム流量状況 (グラフ) ダム水位状況 (グラフ) 河川状況 (グラフ)

民を対象としたリスク・コミュニケーションへの活用を実施する予定である。

謝辞：本稿は、平成19年度科学研究費補助金・基盤研究(A)【課題名：災害に強い地域社会の形成技術に関する総合的研究、課題番号：19206055、研究代表：片田敏孝】の助成を頂いた。また、本研究の実施に当たっては、国土交通省 利根川ダム統合管理事務所からの協力を得た。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 木村俊晃：貯留関数法 (II)，土木技術資料，4巻1号，1962，pp.41-51.
- 2) Rapoport, A.: A Probabilistic Approach to Networks, Social Networks, No.2, pp. 1-18, 1979.