

5.2 総合的な洪水・水資源管理を支援する基盤システムの開発

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：水災害研究グループ

研究担当者：岩見洋一、津田守正、Liu Tong

【要旨】

水災害リスクマネジメント国際センター（以下、ICHARM）では、精緻な水文情報を得ることが困難な流域においても、洪水被害の軽減のための洪水予警報を可能にするため、総合洪水解析システム（IFAS）の開発を行っている。当該研究では、IFAS の機能を向上し、長期・低水流出も含む、統合的な洪水・水資源管理を支援するための基盤システムの開発を行った。モデル定数設定手法の標準化、高度な治水・利水施設操作を反映するモジュールの構築、はん濫や潮位の影響を考慮した低平地流出解析機能モジュールの開発、CommonMP（Common Modeling Platform）を活用した機能拡張などを実施し、アジア河川を対象に適用性の検証を行った。

キーワード：IFAS、土研分布型モデル、洪水予警報、統合的水資源管理、CommonMP

1. はじめに

発展途上国を中心として、世界で頻発する洪水災害の軽減に資するため、ICHARM ではこれまで、水文情報の乏しい地域においても洪水流出解析・予警報が可能となるよう、総合洪水解析システム（Integrated Flood Analysis System：IFAS）の開発¹⁾を行ってきた。

図-1 に IFAS の概要を示す。IFAS は GIS とグラフィカルユーザーインターフェース機能を備え、流出モデル作成、パラメータ設定、降雨の入力、流出計算、結果のグラフィック表示まで、一連の作業が可能である。流出モデル作成には、グローバルデータを活用でき、流出計算の入力降雨には人工衛星観測雨量、地上観測雨量、レーダ観測雨量を活用することができる。

IFAS のモデル構造を図-2 に示す。基本的には、土研分布型流出解析モデルをベースとしており、表層、不飽和層、帯水層を表現した 3 段タンクモデルと、表層、帯水層を表現した 2 段タンクモデルを選択できる。

IFAS の普及を進めていく中で、メガデルタにおけるはん濫や潮位の影響を考慮した、低平地の洪水流出解析が、途上国における水害対策を検討する上で求められていることが明らかになってきた。

また、途上国では、洪水・氾濫ばかりでなく、渇水・干ばつ等の水資源関連の災害も頻発している。水資源管理・開発計画、新規利水施設の整備や、関係者間の水資源管理調整を含む、統合的水資源管理を促進するための支援ツールの開発が強く求められている。

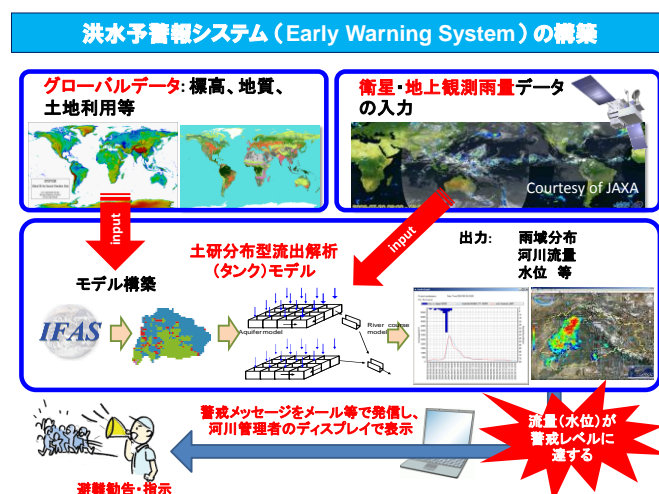


図-1 IFAS の概要

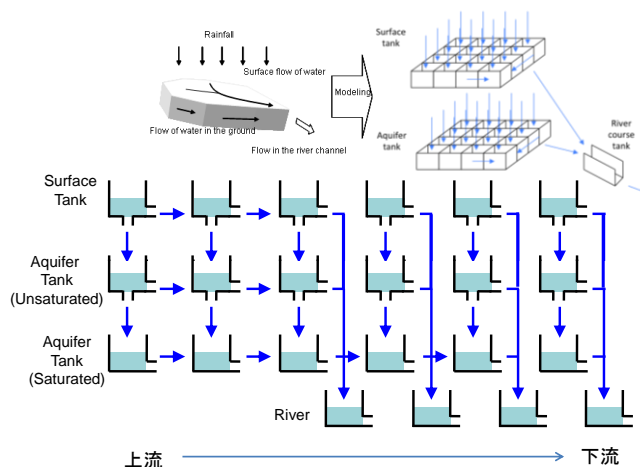


図-2 モデル構造(土研分布型流出解析モデル：3段タンク)

そこで、発展途上国で頻発する洪水・渇水といった水関連災害の軽減に貢献するため、水文情報の乏しい河川でも、幅広い適用性を担保できる IFAS をベースに、必要な機能を追加し、統合的な洪水・水資源管理を支援するツールを開発することとした。

洪水解析においては、パラメータ設定手法の高度化による精度向上や、メガデルタ・低平地における解析機能を追加した。また、融雪・蒸発散を含む長期流出計算機能、及び、ダム・堰操作や各種用水などの人工的な水制御・利用の把握機能を追加した。さらに、アジアの河川を対象に、開発した機能の適用性の検証を行った。

2. 主要な気候区分・土地条件に適応した水文過程のモデルパラメータ設定手法の標準化

IFAS では、インターネット上に公開されている標高、土地利用等のグローバルデータを用いて、流出解析モデルを構築する機能が搭載されている。モデルパラメータのキャリブレーション事例を調査し、主として不飽和層タンクを対象に、パラメータの標準化を行った。

FAO et al.(2012)²⁾により公開されている、全球規模の土質分布図 (Digital Soil Map of the World) をもとに、USDA Soil Texture class に基づき、メッシュ毎の土質を分類する機能を追加した。そして、Handbook of hydrology³⁾を参考に、分類ごとに不飽和層タンクの標準パラメータが設定できるようにした。現地調査により詳細な土質情報が得られた場合には、容易にパラメータの修正ができるようなインターフェイスを構築した(図-3)。

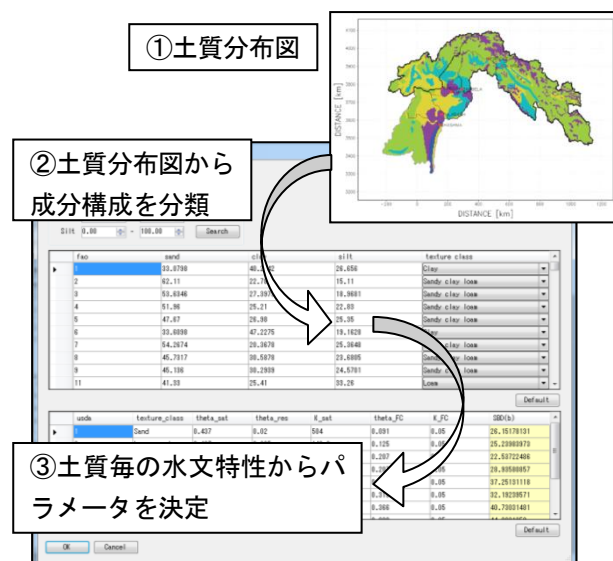


図-3 土質分布図からのパラメータの設定

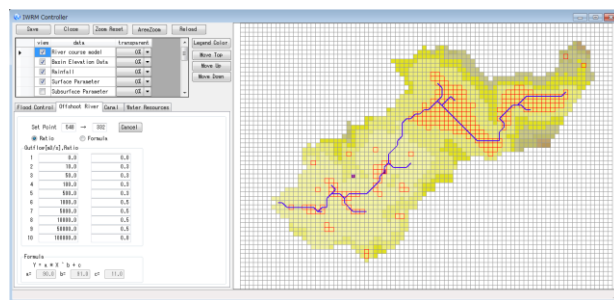


図-4 分派河川機能

3. 低水解析、長期流出解析モジュールの開発

3.1 ダム洪水調節機能の高度化

従来の IFAS は、短期間の洪水流出解析に主眼を置いて開発されており、ダムの洪水調節については、洪水ピークを貯留する機能のみを備えていた。そのため、洪水後にもダムに水を蓄え続けることになり、複数洪水を、連続的に解析することができなかった。そこで、洪水後にダムの貯留水を放流する、事後放流を再現する機能を追加した。

また、ダムの洪水時の放流や利水放流などは、その場の状況によっては、あらかじめ設定したルールで放流量を規定できないことがあるため、ユーザーが自由に放流量を与えられる放流量設定機能を搭載した。

3.2 分派河川設定機能

実際の河川に存在する、自然・人工構造物(堰)による分派河川を再現する機能を搭載した(図-4 参照)。

3.3 ダム利水運用再現機能

ダム下流の利水基準点における必要水量と自然流況から、ダムから下流への補給量、ダムの貯水量変化を計算し、ダム利水運用を再現する機能を搭載した(図-5)。この機能は、渇水時にダムの水が枯渇する時期を予測することで、利水者間の利害調整に資する情報を提供することができる。

また、ダム利水運用計算の計算条件として必要となる上水道の日需要量の推計手法を開発した⁴⁾。これまで GDP 等の経済データ等に適用されてきた、集計データを時間的に配分する手法を、上水道の月使用水量(調定水量)の集計方法を踏まえて、上水道の日使用水量の推計に拡張した。この手法を、愛媛県松山市に適用し、給水制限時の水使用実態の把握のための有用性を検証した。提案した手法は、従来提案されている、日給水量に対して、調定水量から推計した用途比率を

乗ることによる推計手法と比べて、日単位で調整される給水制限強度をより詳細に反映できる点や、結果の妥当性の検証が容易である点で優れていることを示した(図-6)。

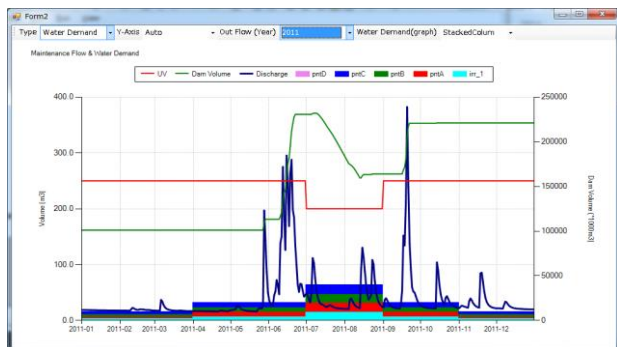


図-5 ダム貯水池運用曲線再現機能

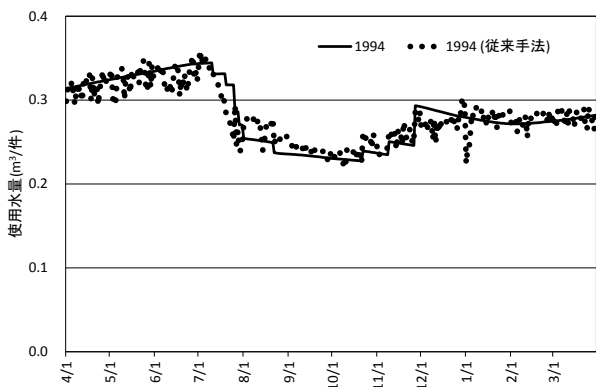


図-6 上水道の家庭日使用水量の推計例 (従来手法との比較)

3. 5 融雪量計算機能の概要

インダス川のように、上流域が標高 6,000~7,000m 級の高山地帯で構成される流域では、モンスーン期の洪水対応を行う上で、融雪の影響を考慮することが重要である。そこで、Degree-Day 法、熱収支法を用いて融雪量を計算する機能と、観測等で得られた融雪量をインポートする機能を導入した。

Degree-Day 法は、気温、アルベド、放射を考慮して融雪量を計算する。熱収支法は、気温、相対湿度、風速、気圧、放射、日照時間、アルベド等を用いて計算を行う。

計算に必要なデータは、現地観測データ、または、Web 上に公開されているグローバルデータを、IFAS

のインターフェイスを通じてインポートできる。

図-7に示すように、気温、風速等のインポートデータや融雪量計算結果は、グラフによる時系列や、平面分布により表示できる。

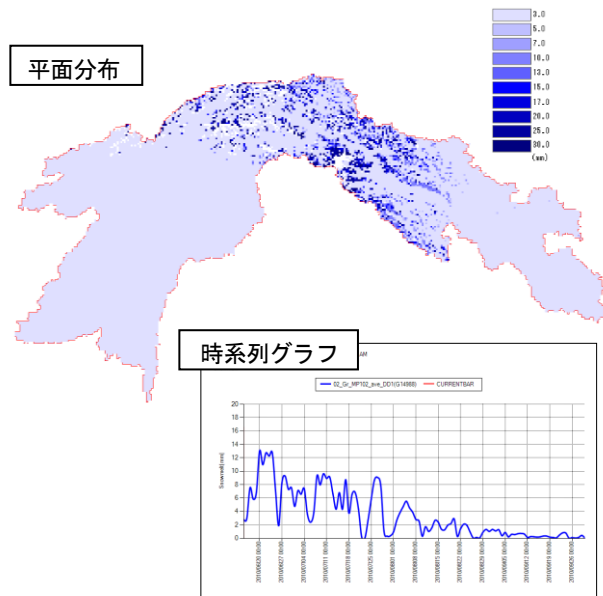


図-7 融雪量の計算結果の表示例 (インダス川流域)

3. 4 蒸発散量計算機能の概要

アジア地域等では、長期的には降雨の多くは蒸発散等により失われる。このため、流域内の長期的な水収支を考慮して、河川流出を精度良く再現するためには、蒸発散量を考慮することが重要である。そこで、Hamon 法、FAO Penman-Monteith 法により蒸発散量を計算する機能と、観測によって得られた蒸発散量をインポートする機能を導入した。

Hamon 法は、気温を用いて蒸発散量を計算する経験的な手法であり、FAO Penman-Monteith 法は、気温、相対湿度、風速、気圧、放射、日照時間、アルベド等を用いて計算を行う。これらの手法では、季節、土地利用、土壌の湿潤状況等に応じて算出した係数により、植生や植物の生育状況、土壌の湿潤状況による蒸発散量の変化を考慮できる。

4. はん濫や潮位の影響を考慮した低平地流出解析機能モジュールの開発

IFAS は、山地域からの降雨流出を解析することを主眼としており、はん濫や潮位の影響を考慮していない。一方で、RRI モデル(降雨流出氾濫モデル)⁹⁾は、低平地を含むはん濫や潮位の影響を考慮して流出解析を行うモデルである(図-8)。そこで、IFAS と RRI を連結し、山地域から下流の低平地のはん濫までを一体的に解析するインターフェイスを、インダス川流域を対象に開発した⁶⁾。

インダス川上流域は、標高 6,000~7,000m 級の高山地帯で構成される。一方、中・下流域は広大な低平地である。そこで、図-9 に示すように、上流の山地域からの流出は IFAS で計算し、中下流域のデルタ地域には RRI モデルを連結した。IFAS により出力される河道流量を RRI モデルの境界条件として与えることで、上流の高山地帯から下流のデルタ地帯までを連続的に計算できるようにした。

また、IFAS では地形データ (DEM) のメッシュ間の勾配差により、河道網を自動的に抽出する機能が導入されていた。この機能では、標高差の小さい低平地等において、実際の河道網が、うまく作成できない場合があり、手作業で地形データの標高を修正する必要があった。そこで、河道モデルの作成を効率化するため、Web 上で公開されている河道網データ (Shape ファイル) を用いて、効率的に河道モデルを作成する機能を導入した。

利用できる河道網データは、全世界を対象として公開されている、HydroSHEDS (River Network) と、日本国内を対象に提供されている、国土数値情報 (JPGIS2.1、流路、河川) とした。これらの河道網にあわせて、IFAS にインポートした地形データの標高を自動的に修正し、効率的に河道モデルが作成されるようにした。

図-10 にインダス川を対象に河道網を作成した例を示す。HydroSHEDS の河道網 (全域の緑線) をもとに、赤色の範囲の標高が修正され、IFAS の河道モデル (流域内の青線) が作成されている。

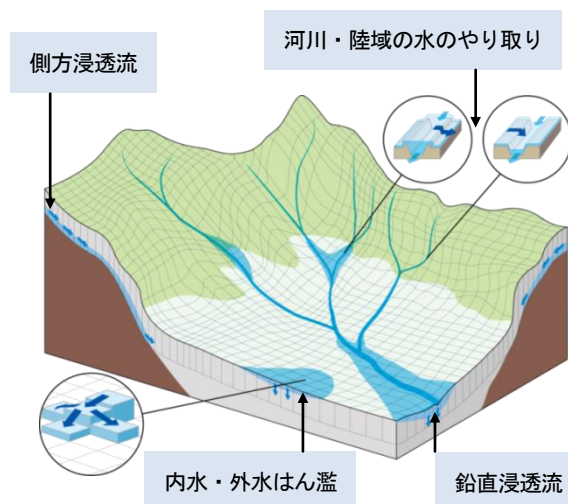


図-8 RRI モデル構造の概要と再現する水文過程

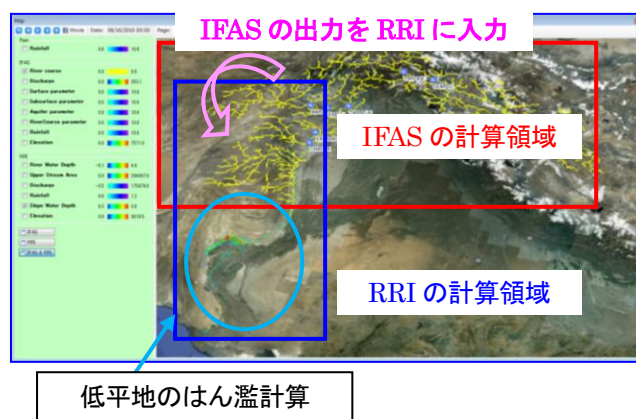


図-9 IFAS と RRI モデルの連結イメージ

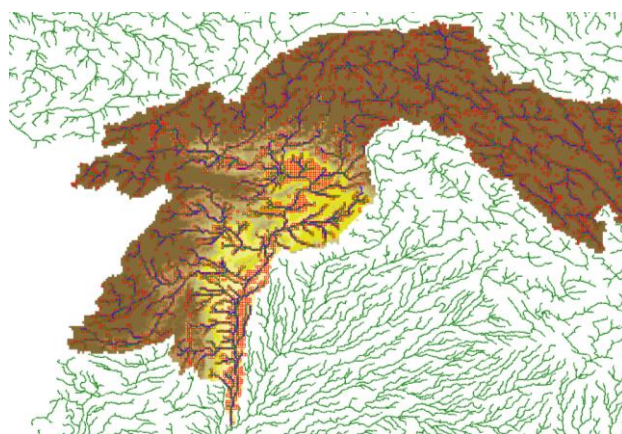


図-10 インターネット上で公開されている河道網データ (全域の緑線) をもとに、IFAS の河道モデル (流域内の青線) を作成する機能 (インダス川事例)

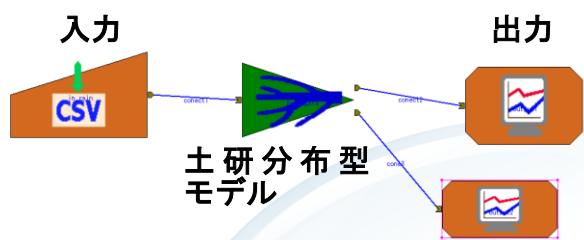
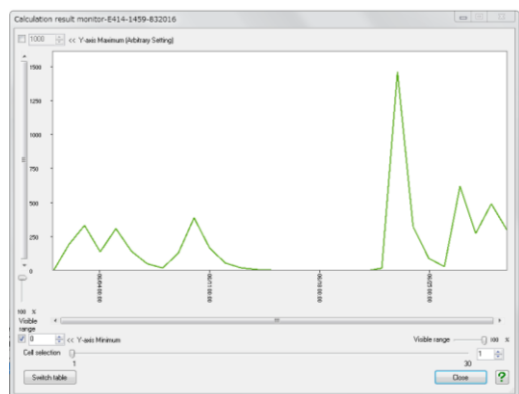


図-11 CommonMP上で動作する土研モデル

図-12 CommonMP上での計算結果のアウトプット
(河川流量)

5. CommonMPを活用したIFASの機能拡張

水循環解析に係る共通基盤である CommonMP を活用することにより、IFAS による流出解析結果を、一次元不定流解析や氾濫解析等と組み合わせることができ、より広範な用途への活用が可能となる。IFAS の主要な流出解析エンジンである土研分布型モデルを対象に、CommonMP 上で動作する要素モデルの開発を行った(図-11)。IFAS で作成した流出解析モデルを、CommonMP 上で動作するモデルに変換することも可能である。解析結果は、図-12 に示すように、CommonMP 上で表示することや、他の要素モデルと組み合わせて活用することも可能である。

6. アジアの河川をモデルケースとした統合水資源管理への適用性検証

新たに IFAS に導入した機能の適用性検証を、インダス川を対象に行った。インダス側流域では、平成 23 年度から 26 年度にかけて、UNESCO の主導によるプロジェクト「Strategic Strengthening of Flood Warning and Management Capacity of Pakistan (パキスタンにおける洪水警報及び管理能力の戦略的強化

プロジェクト)」が実施され、IFAS、RRI を活用した洪水予警報システム (Indus-IFAS) が開発された。

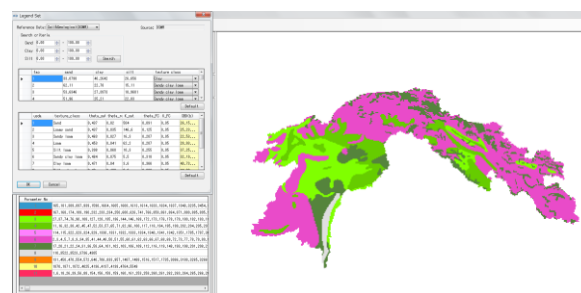


図-13 インダス川流域における土質区分

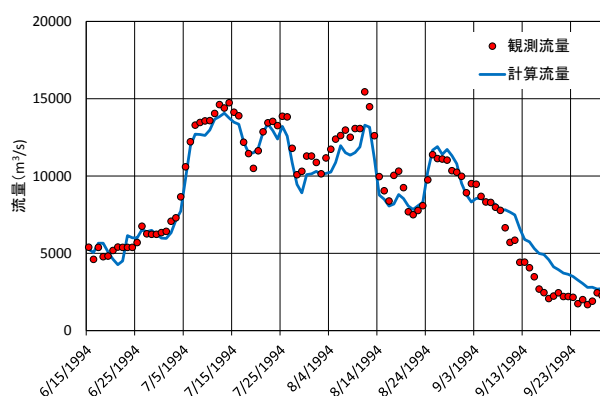


図-14 洪水波形の再現結果 (CHASHMA地点)

また、平成 27 年度からはプロジェクトフェーズ 2 により、モデル対象範囲の拡大と、融雪モデルの導入等が進められている。以上のシステム開発とあわせて、新たに IFAS に導入した機能の検証を行った。

不飽和層タンクのパラメータ設定に際しては、Digital Soil Map of the World の土質分布図をもとに、USDA Soil Texture class による土質分類を行った(図-13)。

インダス川流域では、平成 24 年から平成 25 年にかけて、Pakistan Council of Research in Water Resources (PCRWR)により、112 地点で土質調査が行われており、これらのデータを用いて不飽和層タンクのパラメータが設定された。インダス川流域は、文献値から設定された、標準パラメータと比べて、土壌水分が保持されにくく、より浸透しやすい傾向があることも確認された。

インダス川流域では地上観測雨量計による降雨観測網がまだ不十分であり、人工衛星で観測された雨量の精度にも課題がある。そのため、入力情報として降

雨量を用いるだけで、洪水予警報に必要とされる精度の流出予測を行うことが困難である。そこで、平成 26 年度に構築された Indus-IFAS においては、ユーザーが自由に放流量を与える機能を用いて、観測河川流量やダム地点の放流量を境界条件として与え、下流側の河川流量を計算することとした。上流で観測された河川流量を用いて、その地点より下流における流出解析を順次行うことで、可能な限り計算精度を向上させる工夫を行った(図-14)。

一方で、洪水予測のためのリードタイムの延長や、ダム地点等の流入量予測精度を向上し、より効果的なダム等の運用に資するためにも、融雪量を考慮することが重要である。新たに開発された融雪量計算機能の導入は、インダス川流域における、洪水対応能力の向上に貢献するものと思われる。

融雪計算機能を用いて、インダス川上流域の Partab Bridge 地点における、河川流量計算結果を、図-15 に示す。青色は融雪を考慮しない場合の計算結果であり、緑色は Degree-Day 法(気温を考慮)により、融雪量を計算したものである。河川の流量観測、降雨量の観測精度に課題もあり、融雪量を考慮した場合でも、ピーク付近については過小評価しているが、融雪を考慮しない場合に比べて、出水初期の再現性が向上した。

IFAS をベースとした洪水予警報システムは、インダス川流域のほか、ADB 等のプロジェクトを通じて、アジアの広域河川等において導入されている。平成 25 年度にはインドネシア・ソロ川流域(16,100km²)、平成 26 年度には、パキスタン・インダス川本川上流域(400,000km²)のほか、フィリピン・カガヤン川流域(27,280km²)に導入され、平成 27 年度にはマレーシア・ケランタン川流域(11,900km²)、ベトナム・タイビン川流域(27,200km²)でも開発された。その後、平成 27 年度からはさらに、インダス川東部支川への導入が進められている。

IFAS は流出モデル構築が容易であり、計算結果の表示まで PC 上で簡単に実現できることから、アジア各国の河川技術者を対象とした研修にも活用されている。こうした研修の受講者は、平成 27 年度までに 50 カ国、1,000 人を越えた。これまでは主にアジア国内の技術者が対象であったが、アフリカのフラッシュフラッド対策や、国内技術者を対象とした研修も行われるようになってきている。

7. まとめ

水文情報の乏しい河川でも、幅広い適用性を担保で

きる IFAS をベースとしながら、必要な機能を追加し、統合的な洪水・水資源管理を支援するツールを開発した。

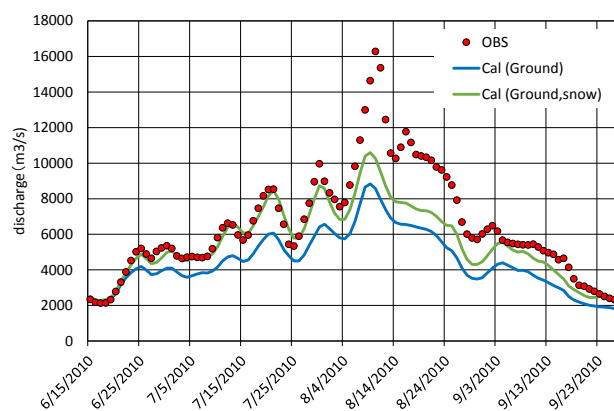


図-15 融雪を考慮した場合の河川流量の計算例
(インダス川・Partab Bridge 地点)

モデルパラメータ設定手法の標準化、低水流出解析・長期流出計算に適した解析エンジンの開発、高度な治水・利水施設操作を反映するモジュールの構築、CommonMP (Common Modeling Platform) を活用した拡張性の高い流出解析システムの構築を通じて、総合的な洪水・水資源管理の基盤システムの開発を行った。

これらの成果は、JICA、UNESCO 等の各種プロジェクトの一環として、アジア等各国における洪水予警報システムとして活用されるだけでなく、ICHARM が実施してきている、洪水・水資源管理能力の向上のための研修・学習用ツールとしても活用されている。

一方で、さらなる改良の方向性が明らかとなっている。たとえば、複数ダムの統合運用など、より高度な治水・利水機能を再現する機能も求められており、これには、複雑な操作を簡単に入力する手法の構築が課題となる。また、水資源管理に関する解析に用いるためには、農地等の水需要を反映するためのモデル開発が課題となる。

多様な国際ニーズに土研の技術が対応するためには、日本を含むアジアモンスーン地域はもとより、熱帯、乾燥帯・半乾燥帯など多様な気候や高標高の積雪・氷河地域など様々な自然・地勢条件下での河川流域においてもシミュレーション可能なモデルの適用性拡大が必要である。国内も含めて、適用性を広げていくためには、導入後の利用状況をモニタリングしつつ、開発のニーズを把握していくことが重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 杉浦友宣・馬籠純・川上貴宏・小澤剛・深見和彦：人工衛星観測雨量を利用した洪水予測システム(IFAS)の開発, 国土交通省国土技術研究会報告, pp.165-170, 2009.
- 2) FAO, IIASA, ISRIC, ISSCAS, JRC, Harmonized World Soil Database (version 1.2), FAO Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria, 2012.
- 3) Maidment, D.R., (Editor in Chief), Handbook of Hydrology, McGraw-Hill, 1993.
- 4) 津田守正, 岩見洋一：上水道の用途別月使用水量の時間的配分による用途別日使用水量の推計, 土木学会論文集 G (環境), Vol.71, No.6, II 387-II 395, 2015.
- 5) 佐山敬洋・岩見洋一：降雨流出氾濫 (RR1) モデルの開発と応用, 土木技術資料, 2014年6月号, pp. 18-21, 2014.
- 6) 津田守正・杉浦愛・佐山敬洋・岩見洋一：インダス川流域を対象とした洪水予警報システムの構築, 土木技術資料 2014年11月号, pp. 34-37, 2014.

DEVELOPMENT OF FUNDAMENTAL SYSTEM FOR INTEGRATED FLOOD MANAGEMENT AND INTEGRATED WATER RESOURCES MANAGEMENT

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Water related disaster research group

Author :

Kazuhiko FUKAMI

Yoichi IWAMI

Seishi Nabesaka

Morimasa TSUDA

Takahiro SAYAMA

Mamoru MIYAMOTO

Ai SIGIURA

Yusuke YAMAZAKI

LIU Tong

Abstract : ICHARM is developing the “Integrated Flood Analysis System: IFAS”, which enables to forecast flood events in insufficiently gauged river basins. This research program aims to further development of a system for integrated flood and water resources management. ICHARM has developed setting functions of initial parameter using global soil information. In order to combine runoff analysis model (IFAS) and inundation analysis model (RRI), interface targeting on Indus river basin, Indus-IFAS, was developed. Dam operation function, offshoot river function, dam operating mass curve function and designing function of dam reservoir for water use were developed as fundamental components for long term analysis in Integrated Water Resources Management. Evapotranspiration and snow melt modules were added to improve applicability to a variety of climate conditions. Applicability of newly developed functions was evaluated in Asian river basins.

Key words : IFAS, PWRI distributed hydrological model, Flood forecasting, Integrated water resources management, CommonMP