

途上国の洪水警報及びその管理能力の戦略的強化のための 技術開発と現地への適用

岩見洋一・津田守正・山崎祐介・Liu Tong

1. はじめに

昨今、国内外で大水害が多発している。水災害に見舞われると、犠牲者や経済損失が生じるとともに、社会機能の復興に大きなエネルギーを要する。このため、予防的に水災害から生命・財産を守り、被害軽減を目指す観点から、水防災施設の整備と効果的な運用、土地利用の適正な管理、防災情報の伝達及び被害軽減行動の促進などを組み合わせた総合的な対策を計画的に実施していく必要がある。これらを実施するには、時間・費用・技術・人材が必要とされる。特に、洪水氾濫現象を的確に予測・シミュレーションする能力及び先進的な技術・システムの開発は、被害軽減を図るための早期警報の発令のみならず、流域内のリスク評価やその結果に基づく効果的な防災投資の計画検討、施設運用効果の評価などに幅広く活用できる。このため、洪水・氾濫予測技術の開発及びその能力強化を図るための投資は、防災レジリエンスを高める上で基盤となる。ここでは、洪水・氾濫予測シミュレーション技術を導入するに当たり、途上国がかかえる課題を考慮しつつ ICHARM が開発した IFAS(総合洪水解析システム)及び RRI(降雨流出氾濫)モデルの優位性及びそれらのモデルを適用し、洪水警報・管理能力の強化を図った事例について紹介する。

2. 途上国の有する課題

一般に途上国では、次に掲げるような防災上の課題を抱えている。

- 1) 雨量、水位、流量、浸水範囲等に関する観測データが十分蓄積・管理されていない。このため、モデル構築・検証ができず、シミュレーションによるリスク評価も困難である。
- 2) システムの開発・運用のためには、予算が必要であるが、それらが十分に確保されていない。

- 3) モデルを構築・運用するには、技術者の能力開発が必要であるが、そのための研修が不足している。

これらの課題に対応するため、 ICHARM では、モデルの開発・運用コンセプトを次のように定め、技術的な検討を進めてきた。

- i) 計算機能力の向上に伴い分布型水文モデルの適用が可能であることを踏まえ、グローバルデータを基に流出に係るパラメータの空間分布を設定できるモデル・システムを開発する。また、地上観測ネットワークが不十分な地域においても準リアルタイムの衛星観測降水データを活用し、雨量を入力できるようにする。ただし、将来、有効な地上観測データが取得・活用できることを想定し、モデルの精度を段階的に高められるように拡張性も考慮した設計とする。
- ii) 実行形式のプログラムをフリーで提供する。このため、ウェブから自由にダウンロードできるようにする。
- iii) GUI(グラフィカルユーザーインターフェース)を備え、容易に入出力の操作ができるようにする。また、GIS機能により、ビジュアルに入出力データの確認ができるようにする。また、デフォルトパラメータを活用できるが、マニュアルによるパラメータ・チューニング機能も有するようにする。これらの機能について、技術マニュアルを整備するとともに、研修を通じモデルの構造や操作の知識・能力の向上を図る。以上の基本コンセプトを踏まえ、 ICHARM では、 IFAS 及び RRI モデルを開発した。

3. ICHARM で開発した洪水解析モデル

(1) IFAS

IFAS は、土研分布型タンクモデル（河道内はキネマティック波による追跡）をベースに GIS 機能のインターフェースを付加したモデルである¹⁾。図-1 に IFAS の概要を示す。グローバルデータを活用することによって、容易に河道網モデルを構築することができる。また、地上観測雨量データ

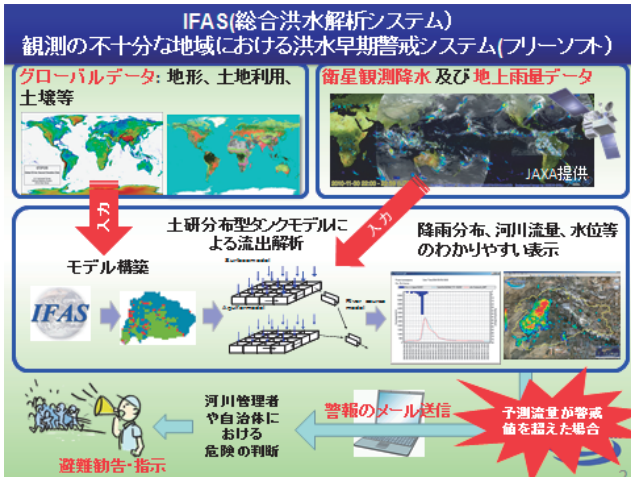


図-1 IFASの概要

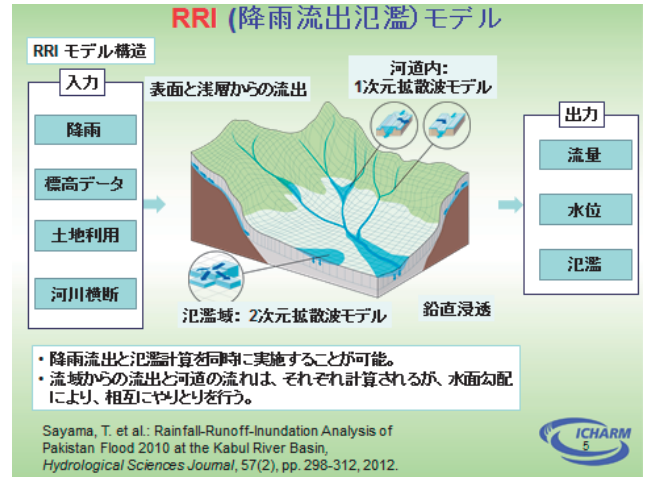


図-2 RRIモデルの概要

が乏しい地域においては、衛星観測降水データを入力することができる。IFASは、流出計算を迅速に行い、任意地点における流量ハイドログラフ、降雨や流量の空間分布をGIS上で表示する機能がある。また、あらかじめ警戒レベルを設定しておけば、そのレベルを超えた場合、警報メールを自動送信することも可能である。IFASは、長期流出計算用の3段タンクモデルと洪水解析用の2段タンクモデルを選択できる。更に、ダムによる洪水調節機能も設定できるようになっている。

IFASは、2008年に土研 ICHARM のウェブ (http://www.icharm.pwri.go.jp/index_j.html) で公開して以降、順次機能追加・高速化するなど充実を図ってきた。現在も融雪計算機能やパラメータの自動最適化等についての研究を実施中である。

また、これまで、インドネシアのソロ川 (ADBプロジェクト, 2012)、フィリピンのカガヤン川 (ADBプロジェクト, 2014)、パキスタンのインダス川 (UNESCOプロジェクト, 2014)、ヴェトナムのタイビン川 (JAXA-SAFEプロジェクト, 2015)、マレーシアのケランタン川・ドゥングン川 (SATREPSプロジェクト, 2015) にて、システムを現地機関へ導入している。

(2) RRIモデル

RRIモデルは、2次元拡散波近似を用い、降雨流出と氾濫解析を一体的に解くことが可能なモデルである²⁾。このため、他の氾濫解析事例のように、河道流出モデルで計算した氾濫起点の流出量を、二次氾濫モデルの境界条件として与えて、別途氾濫モデルによる計算を行う必要がない。図-2

に、RRIモデルの概要を示す。

ICHARMでは、2011年のタイのチャオプラヤ洪水時に、RRIモデルを活用し、緊急対応のシミュレーションを実施・公表した³⁾。2016年には、これまで開発を進めてきたGUIとともに、RRIプログラムをICHARMのウェブに公開した。

これまでに、タイのチャオプラヤ川 (JICAプロジェクト, 2013)、パキスタンのインダス川 (UNESCOプロジェクト, 2014)、ミャンマーのヤンゴン平野等 (ADBプロジェクト, 2016)、スリランカのカルガンガ川 (JAXA-SAFE, 2016実施中) でシステムを導入している。

(3) 衛星観測降水データの補正技術

IFAS、RRIでは衛星観測降水データを入力することができる。衛星観測降水データは、NASA、NOAA、JAXAが提供しているプロダクトがある。このうち、JAXAが公開しているGSMaP_NRTは、空間解像度0.1度(約10km)の時間毎のデータ(マイクロ放射計による観測時間帯以外は、他の衛星による赤外線情報から雲移動ベクトルを算出し補完し作成)が、データ処理に要する4時間後に無料で配信されている。衛星観測降水データは、時空間解像度に制約があるものの、広域的に空間分布が把握できることから、地上観測網が発達していない地域や国際河川において上流の他国領域における降水情報等を得るのに有益である。ただし、地上雨量データとの比較解析結果からバイアスや雨域のずれが生じることが判明している。このため、衛星観測降水データを利用するにあたっては、バイアスを補正する必要がある。バイアス

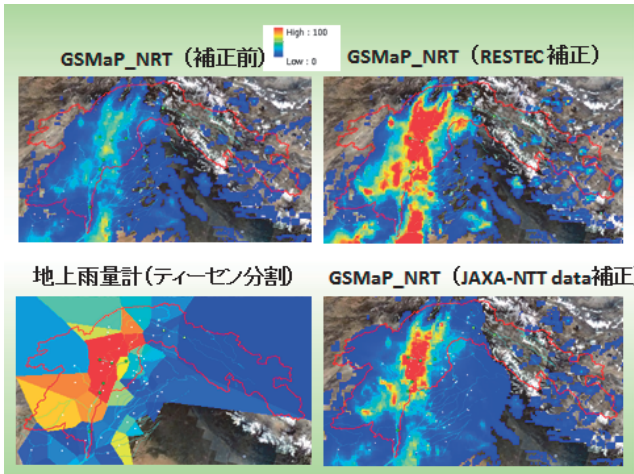


図-3 GSMaPの補正法の比較検討

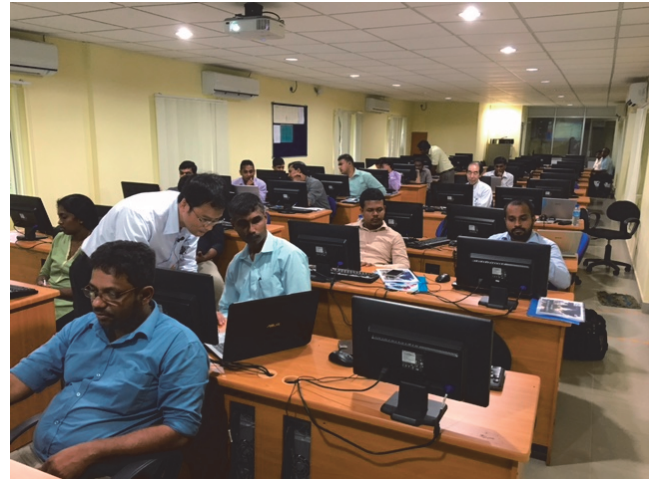


図-4 スリランカでの研修(GSMaPの補正)

補正については、いくつか手法が提案されており、ICHARMが開発し既にIFASに搭載されている雨域移動情報を基にバイアスを補正する方法やRESTEC（一般財団法人 リモート・センシング技術センター）やJAXA及びNTT-DATAが個別に開発した地上雨量情報を基に補正する手法等がある。ICHARMでは、流域内の降水量分布について、これらの補正手法の比較検討（図-3参照）を実施しており、流域特性や地上雨量情報に応じ、適切な手法を検討する必要があるが、GSMaPの補正を含むシステムの技術提案や演習を行っている。

4. 研修の実施

ICHARMでは、JICA等の国際協力機関と連携し、IFAS等の国内研修を実施してきた。近年では東大とICHARMの共催による夏季集中コースでIFASの演習を実施し効果を上げている。更に、土木学会、水文・水資源学会の夏季講習会でIFASの活用法の紹介や演習を行っている。更に、海外では、プロジェクトを通じ対象国・機関に向けて研修(図-4)を実施している他、JICAとAHAセンター（ASEAN防災人道支援調整センター）と連携したASEAN諸国を対象としたIFAS研修、UNESCO カイロ事務所と連携したアラブ諸国向けの研修等を実施し、IFAS、RRI、GSMaP補正などの研修を進めている。また、ICHARMに世界各地から受け入れている修士コース、Ph.Dコースの学生もIFASやRRIをICHARMで学習し、これらのモデルを活用した研究論文を多数まとめている。

これまで、IFASの研修参加者は、延べ53カ国

1,100人以上（2015年度まで）に達している。

また、ICHARMでは、IFAS、RRIに関する問い合わせ等に対するヘルプデスクが設置されており、各国からのユーザーからの質問等に対し適宜助言を行っている。また、研修でのグループ討論等を通じ、ユーザーからの意見を収集し、それらをモデルの改良に反映させている。このように、モデル開発のみならず、研修を実施することにより、多くの研究者や行政関係者の関心が高まるとともに、持続的に実際に運用できるシステムの導入へとつながっていくので、研修はとても重要である。

5. ユネスコパキスタンプロジェクト

2010年に大きな被害（浸水域：160,000km²、直接被害額：100億ドル、死者数：1,985人）をもたらしたパキスタン・インダス川における大洪水を踏まえ、ユネスコからの委託によりICHARMは、インダス川における洪水予測システムを構築する「パキスタンにおける洪水警報・管理能力の戦略的強化」プロジェクト（2011～2014年度）を実施した⁴⁾。

本プロジェクトでは、広大なインダス川において、洪水到達ならびに下流の氾濫域の予測を的確に実施するため、上流域については、流量を迅速に計算するIFAS、下流域では氾濫計算を実施できるRRIを組み合わせた、「Indus-IFAS」（図-5）を構築・導入した。本流域では、地上雨量情報が不足しているため、衛星観測降水データの活用や上流地点におけるリアルタイム観測流量を境界条件として入力できる機能を付加し、2つの結

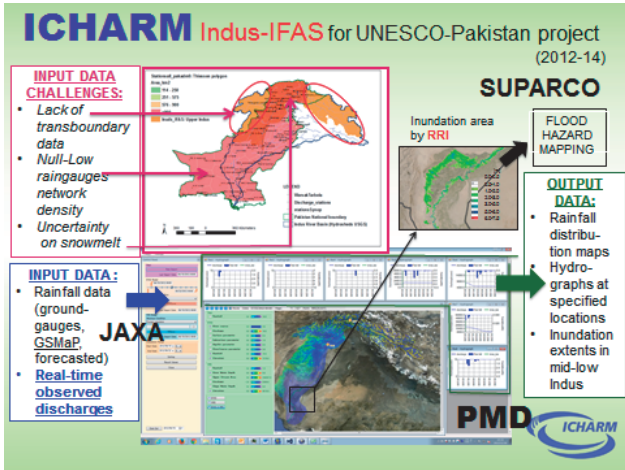


図-5 Indus-IFASの概要



図-6 パキスタン気象局・洪水予測部での研修

合モデルを簡単に操作し、出力結果が容易に表示されるインターフェースを作り込んだ。また、現地での国際シンポジウム、パキスタン気象局・洪水予測部（PMD-FFD）を対象にしたトレーニング、パキスタン関係行政機関からICHARM修士コースへ6人の学生の受け入れ、本邦での11人の管理者研修等を総合的に実施した。その結果、PMDの職員自らが洪水予測を実施し、その結果をウェブサイトで公表している。洪水予測システムが導入・運用されるようになったことで、リードタイムを1日以上延長することが可能になった。2015年度からは、新たにフェーズ2プロジェクト

トが開始され、2017年度秋に向けて、インダス川東支川（パンジャーブ地方）のIndus-IFASへの統合、高山地域の融雪計算モジュール開発、降雨観測データの流域での組合せ入力機能開発、衛星観測降雨の新補正手法の導入等により、Indus-IFASのグレードアップを図るとともに、ADCP（超音波ドップラー流向流速計）を活用した流量観測技術を含む研修を進めていくこととしている。

6. おわりに

データや管理能力が十分でない地域における洪水警報システムの構築の技術開発を行い、インダス川に適用した事例を紹介した。その結果、ICHARMで開発された洪水解析モデルの有効性が確認された。また、実際に水災害を軽減していくためには、最先端の科学技術の活用とともに、システムを運用する能力開発も重要であり、そのための研修の実施が有効であることも確認できた。

このように、技術開発と能力開発の相乗作用によって、持続的に運用可能で、自律的に発展するシステムが構築されていくものと考えている。

参考文献

- 1) 杉浦友宣、馬籠純、川上貴文、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) 佐山敬洋、岩見洋一：降雨流出氾濫(RRI)モデルの開発と応用、土木技術資料、第56巻、第6号、pp.18～21、2014
- 3) 佐山敬洋、建部祐哉、藤岡 奨、牛山朋来、萬矢敦啓、田中茂信：2011年タイ洪水を対象にした緊急対応の降雨流出氾濫予測、土木学会論文集B1(水工学)、Vol.69、No.1、pp.14～29、2013
- 4) 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、第56巻、第11号、pp.34～37、2014

岩見洋一



土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター
水災害研究グループ 上席
研究員
Yoichi IWAMI

津田守正



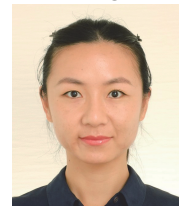
土木研究所水災害・リスク
マネジメント国際センター
水災害研究グループ 主任
研究員、工博
Dr. Morimasa TSUDA

山崎祐介



土木研究所水災害・リスク
マネジメント国際センター
水災害研究グループ 専門
研究員、農博
Dr. Yusuke YAMAZAKI

Liu Tong



土木研究所水災害・リスク
マネジメント国際センター
水災害研究グループ 専門
研究員、工博
Dr. Liu TONG