

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

津田守正・杉浦 愛・佐山敬洋・岩見洋一

1. はじめに

水災害・リスクマネジメント国際センター（以下、ICHARMという）では、2011年度から2014年度にかけて、UNESCOパキスタンプロジェクトの一環として、パキスタン国インダス川流域を対象とした洪水予警報システム（Indus-IFAS）を構築し、同国パキスタン気象局に導入した。本報告では、同システムの技術的特徴や、今後の展望等について述べる。

2. UNESCOパキスタンプロジェクトの概要

2.1 背景

パキスタンではモンスーン期間中（6月中旬から9月下旬）において、インダス川流域に沿って毎年のように洪水が発生している。2010年に発生した大洪水では、約2千万人が影響を受け、約2千人の犠牲者が出た。これまでも洪水予警報システムが導入されているものの、インダス川上流域やカブール川流域はカバーされておらず、2010年洪水時の被害の多くはこうした地域で発生した。また、洪水や危機管理に対する認識についても課題が明らかとなった。

こうしたことから、同国における洪水対策能力の戦略的強化を目指して、2011年度から2014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）」が実施された。このプロジェクトは、洪水予警報システムやハザードマップの導入、情報共有プラットフォームの構築、人材育成を含む包括的なプロジェクトであり、パキスタン政府、JAXA、ICHARM等の連携のもとで実施された。

2.2 ICHARMの担当内容

ICHARMはプロジェクトのうち、洪水予警報システムの構築、氾濫域の解析、研修を担当した。

このうち、洪水予警報システムの構築においては、ICHARMで開発を進めている2つの流出解析モデル、総合洪水解析システム（IFAS）¹⁾と、降雨流出氾濫モデル（RRI）²⁾を組み合わせ、インダス川上流から下流までの広範囲をカバーした洪水予警報システム（Indus-IFAS）を開発した^{3),4)}。

IFASは、全世界を対象に公開されているグローバルな地形、土地利用、地質データを用いて、容易に流出解析モデルを構築でき、水文観測が不十分な地域でも人工衛星観測雨量を用いて河川流量が解析できる流出解析モデルである。これまで、IFASを活用した洪水予警報システムを、インドネシア国ソロ川流域に導入し⁵⁾、フィリピン国カガヤン川流域での運用に向けて、調整・試行を行っている⁶⁾。IFASは山地域から河川への流出を主な解析対象としており、こうした範囲におけるリアルタイム洪水予測に適しているものの、河川の低平地における氾濫を計算することはできない。

一方、RRIは降雨流出・洪水氾濫を一体的に解析することが可能であり、インダス川下流の平地部における氾濫の影響を解析することが可能である。

以上の両モデルの特徴を踏まえて、IFASとRRIを組み合わせることで、多様な水文的特徴を有するインダス川流域の広範囲を対象として、リアルタイムの洪水予測が可能なシステムを構築した。IFAS、RRIを組み合わせ、リアルタイムの洪水予警報システムを構築したのは、今回のインダス川流域がはじめてである。

3. 流出解析モデルの構築

3.1 インダス川流域の特徴

インダス川は、中国、インド、アフガニスタン、パキスタンの4ヶ国を流下する国際河川であり、標高約7,000m級の高山地帯から、アラビア海ま

でを流下し、多様な気象、地形特性を含んでいる。

インダス川流域においては、水文観測網の構築は、まだ十分に進んでいない。インダス川上流域の約40万km²以上の範囲内に、地上観測雨量計は26箇所しか存在せず、雨量計1箇所あたりの平均面積は15,000km²以上である。これは、WMOが推奨する雨量計の配置間隔である、山地域250km²、平野部575km²を大きく上回る。

こうした降雨観測網が不十分な地域でも水文流出解析が実施できるよう、IFASは人工衛星観測雨量が活用できるように設計されている。たとえば、0.1度(約10km)四方の空間解像度に対して、1時間ごとの雨量データがほぼリアルタイムで提供される、GSMaP-NRT(JAXA)を洪水予測に利用することもできる。ただし、本プロジェクトにおいてもJAXAにより観測精度向上のための検討が行われているものの、人工衛星観測雨量の観測精度は地上観測雨量と比べると低い。

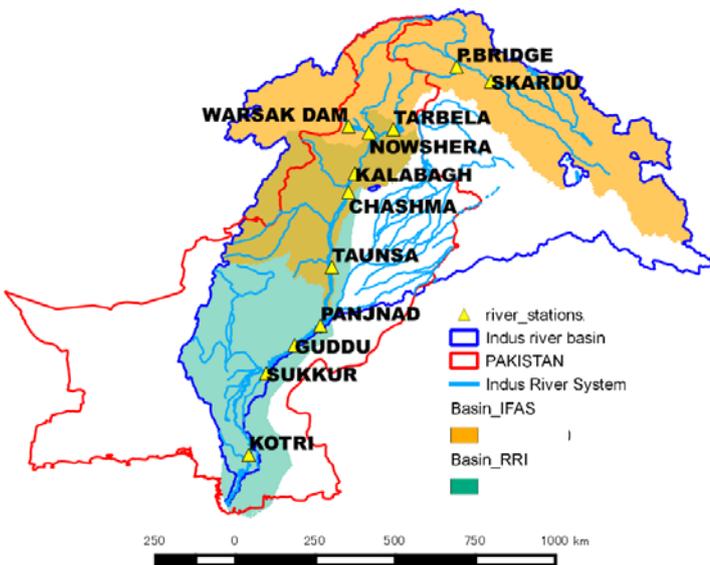


図-1 解析対象流域の概要

3.2 IFAS、RRIの概要

IFASは土研分布型モデルをベースとしている。土研分布型モデルの構造を図-2に示す。降雨による山地斜面から河道への流出については、表層、不飽和層、帯水層の3段のタンクにより表現し、河道の流出についてはKinematic wave法により表現する。主として山地における河川流出を解析し、河川から平野部等に対して氾濫した場合の影響等を考慮することはできない。

RRIのモデル構造を図-3に示す。RRIは対象と

する流域を河道と陸域に分けて取り扱う。河道のあるグリッドセルにおいては、一つのグリッドセルに河道と陸域の両方が存在する。河道はグリッドセルの中央を流れる線分として表現し、越流公式に基づいて河道・陸域の水のやり取りを計算する。

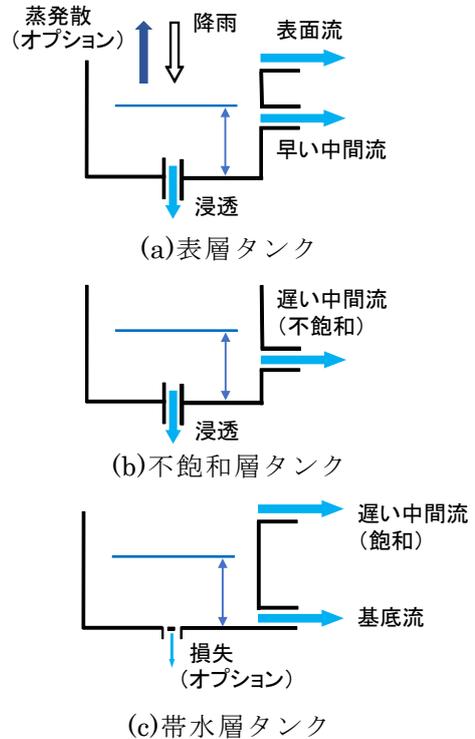


図-2 3段タンク土研分布型モデルの鉛直構造

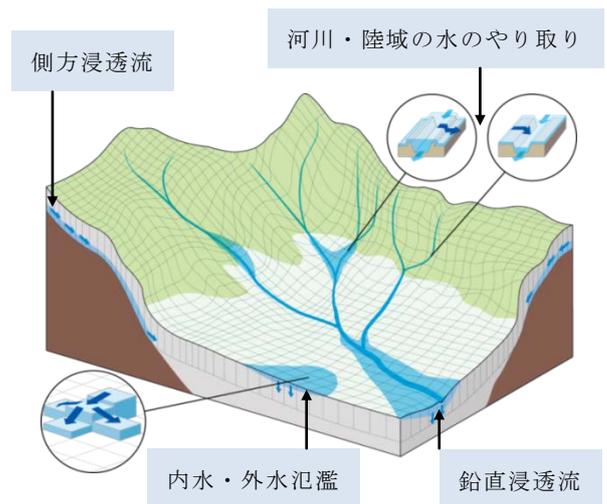


図-3 RRIのモデル構造の概要と再現する水文過程

3.3 インダス川を対象としたモデルの構築

IFASとRRIモデルを連結し、インダス川上流の山地域から下流の低平地の氾濫までを一体的に解析する流出解析モデルを構築した。上流の山地

域はIFASで解析し、得られた河川流量を、中流から下流を解析するRRIの入力値として用いることで、連続的に解析できるようにした。

3.1で述べたように、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。また、インダス川上流域では融雪による流出量が多いものの、現在のIFAS、RRIでは融雪量を解析することはできない。

そこで、広大な流域面積を有するインダス川において、より精度良い洪水予測を行うため、モデルの入力情報として、降雨データだけではなく、観測河川流量を用いることとした。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。

モデルパラメータは、1988年、1997年、2010年の3カ年のモンスーン期を対象に設定し、設定したパラメータの妥当性を検証するため、同一パラメータを用いて1992年、1994年、2012年の再現性を確認したうえで決定した。

インダス川中流部のCHASHMA地点について、これらの年のうち1994年洪水の解析結果を図-4に示す。洪水の立ち上がりからピーク付近の変動も含めてよく再現できており、波形の再現性を判断するためのNash-Sutcliffe指標は、0.93と良好である。

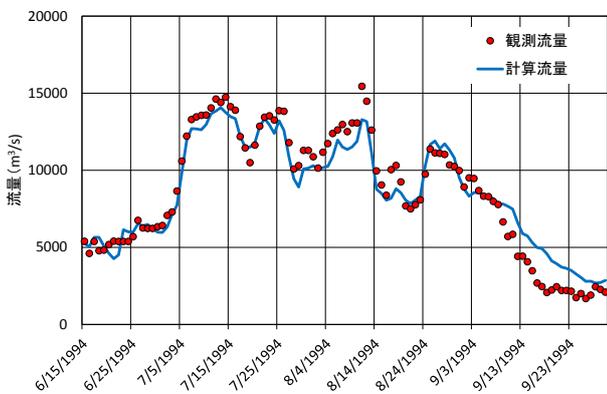


図-4 洪水波形の再現結果 (CHASHMA地点)

4. Indus-IFASインターフェースの構築

インダス川流域の洪水予測結果をビジュアル的

に分かりやすく表示する機能を備えたインターフェースを構築した。

構築したインターフェースを、図-5に示す。降雨や流量といった、解析に必要な情報の設定画面と、地点ごとの雨量や流量の時系列を表示するハイドログラフ、流域全体の降雨や河川流量、氾濫状況等の平面分布が一目で把握できるように配慮されている。

解析結果をKMZフォーマットで出力することもでき、図-6のように、Google Earth上でビジュアル的に表示できる。これより、洪水に対する警戒情報を住民やマスコミ等に対して分かりやすく伝達することが可能である。

このシステムは、2013年6月よりパキスタン気象局において、テスト運用が開始され、表示機能等の改善を行ったうえで、2014年6月より同国における洪水予警報の現場で実際に活用されている。

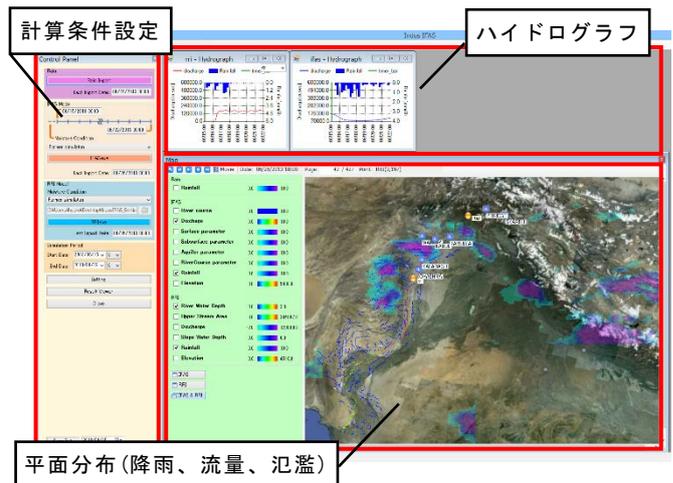


図-5 Indus-IFASの表示画面

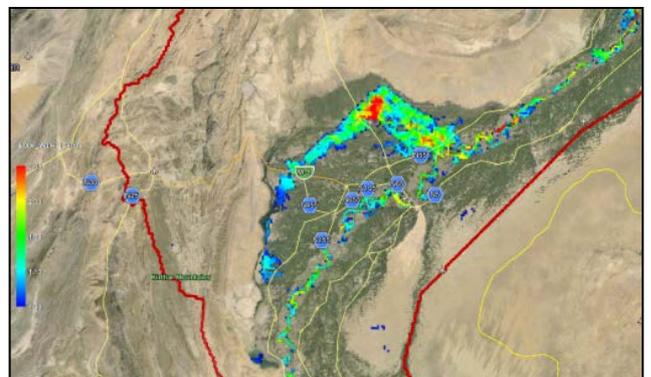


図-6 Google Earth上での表示例(氾濫状況)

5. まとめ

2011年度から2014年度にかけて実施された

UNESCOパキスタンプロジェクト「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)」において、インダス川流域のほぼ全域を対象にした洪水予警報システム (Indus-IFAS) を構築した。これより、インダス川上流域やカブール川流域の洪水予警報が可能になった。

システムの構築においては、IFAS、RRIの2つの流出解析モデルを用い、高山地帯から下流の低平地まで多様な地形、気象特性を有する流域において、限られた水文情報をもとに、精度良い洪水予警報を実現するための工夫を行った。

一方、今回構築したモデルには、上流域の融雪の影響の考慮や、実際に近いダム運用の再現等、改良のための課題が残されている。また、限られた水文情報を活用した流出予測精度の向上については、継続した課題である。

本プロジェクトで構築したシステムは、実際の運用の中でより合理的なパラメータに変更したり、新たな水文観測施設の導入等にあわせて、改良を行いながら活用していくことが重要である。

本プロジェクトでは、ICHARMが政策研究大学院大学と連携して開設している修士課程において、パキスタン政府から6人の学生を受け入れた。さらに、2012年、2013年の2か年において、パキスタン政府関係者を対象とした、各10日間の短期研修を行い、合計11人が受講した。このように、プロジェクト終了後においても継続してシステムの運用や改良が可能となるよう配慮されている。こうした技術者と協力しつつ、ICHARMとしても引き続き技術的な支援を行っていきたいと考えている。

謝 辞

本プロジェクトはUNESCOの支援により推進されたものである。プロジェクトの実施においては、パキスタン政府関係者やJAXA等、プロジェクト関係者から多大な支援を受けるとともに、データ等の提供を受けた。また、本プロジェクトの成果は、前ICHARM主任研究員(現水資源機構)の鍋坂誠志様ほか、多くの方々の尽力によるものである。ここに記し謝意を表する。

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) 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) Sugiura, A., Fujioka, S., Nabesaka, S., Tsuda, M. and Iwami, Y.: Development of a flood forecasting system on upper Indus catchment using IFAS, 6th International Conference on Flood Management- ICFM6, 2014
- 4) Sugiura, A., Fujioka, S., Nabesaka, S., Sayama, T., Iwami, Y., Fukami, K., Tanaka, S. and Takeuchi, K.: Challenges on modelling a large river basin with scarce data: A case study of the Indus upper catchment, 20th International Congress on Modelling and Simulation, pp.2346-2352, 2013
- 5) 鍋坂誠志、藤岡奨、宮本守、杉浦愛、岡積敏雄、田中茂信、深見和彦：インドネシア国ソロ川流域におけるリアルタイム洪水予警報システムの構築、河川技術論文集(報告)、Vol.19、pp.345～350、2013
- 6) 宮本守、岡積敏雄、鍋坂誠志：フィリピン・カガヤン川流域における現行の洪水予測手法の水文学的課題と改善に向けての提案、河川技術論文集、Vol.19、pp.357～362、2013

津田守正



(独)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

杉浦 愛



UNESCO ジャカルタオフィス(前 (独)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)
PhD Dr. Ai SUGIURA

佐山敬洋



(独)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.Takahiro SAYAMA

岩見洋一



(独)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