

途上国へ適用可能な洪水リスク評価技術

APPLICABLE METHODOLOGIES FOR FLOOD RISK ASSESSMENT IN THE RIVER BASIN IN DEVELOPING COUNTRIES

岡積敏雄¹, 田中茂信²

Toshio OKAZUMI and Shigenobu TANAKA

¹正会員 工修 土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター (〒305-8516 つくば市南原1-6)

²正会員 工博 土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター (〒305-8516 つくば市南原1-6)

When we tackle flood risk assessment, collection of precise data and information can be first straggle in river basin of developing countries. We always have to tackle to produce appropriate and reproductive results as precise as possible with these limited data and information.

In this paper, identifying important perspectives for flood risk assessment, based on the experiences and technologies which International Centre for Water Hazard and Risk Management of Public Works Research Institutes (ICHARM/PWRI) conducted through several projects in developing countries, will be summarized. The most of difficulty in the methodology for flood risk assessment in developing countries is insufficient hydrological data and other information. Especially, effective utilization of satellite information and statistical approaches with localism must be key technology in this paper.

Key Words: flood risk assessment, hydrological data, satellite information, flood inundation model, flood damage

1. はじめに

2011年のタイチャオプラヤ川洪水や東日本大震災などの近年の大災害に加え、ミレニアム開発目標 (MDGs)¹⁾及び兵庫行動枠組み (HFA) の目標年である2015年が迫ってきていることもあり、国際的な舞台で水関連災害についての議論が高まってきている。そのような中で議論のみで終わらせないよう適切なリスク低減を進める行動の重要性が多くの場合で訴えられている²⁾。また、特にタイのチャオプラヤ川洪水で思い知らされたように他国の水災害が自国の経済にまで影響を及ぼす社会になっていることから、我が国の技術を他国に活用してもらうことは国益にもつながる重要性を持ち合わせている。

このリスク低減を行うためには、適切なリスクアセスメントができなければいけない。洪水リスクアセスメントを精度良く行うためには精度のいいデータをもとに、精度が良く、扱いやすいモデルで予測計算をして、可能な限り再現性の高い情報をもとに被害額などのリスクの結果に繋げていくことが必要となる。

しかしながら、特に途上国では常に精度の高いデータが手に入るとは限らず、その入手できた限られた情報の中でいかに妥当性が高く、再現性の高い結果を導き出すかが必要とされる。

ICHARMはアジア開発銀行技術協力プロジェクト (ADBTA7276)、UNESCOパキスタンプロジェクトなどを通じて途上国におけるローカリズムを重視した取組みを展開してきており、洪水リスクアセスメントにおいても多大な成果を上げてきている。

2. 洪水リスクアセスメントと途上国での課題

(1) 洪水リスクアセスメントの考え方

洪水リスクアセスメントを考える上で、基本となる考え方を次に二つ紹介する。

a) 洪水リスクアセスメントの定義

国連防災戦略が発行している用語集では、リスク評価は生じうるハザードの分析と脆弱性の現状評価を行うことによって、それらが組み合わさって与えうる人々、財産、サービス及びそれらが依存する環境への危害について、そのリスクの性質と程度を判断するための手法。³⁾とあり、これから考えると、洪水というハザードの分析と脆弱性の評価で被害の性質と程度を明らかにする手法といえる。すなわちこの手法の結果として想定される被害を求めることが必要となる。

b) 河川砂防技術基準における洪水リスクアセスメント

河川砂防技術基準調査編 (平成24年6月版)⁴⁾において

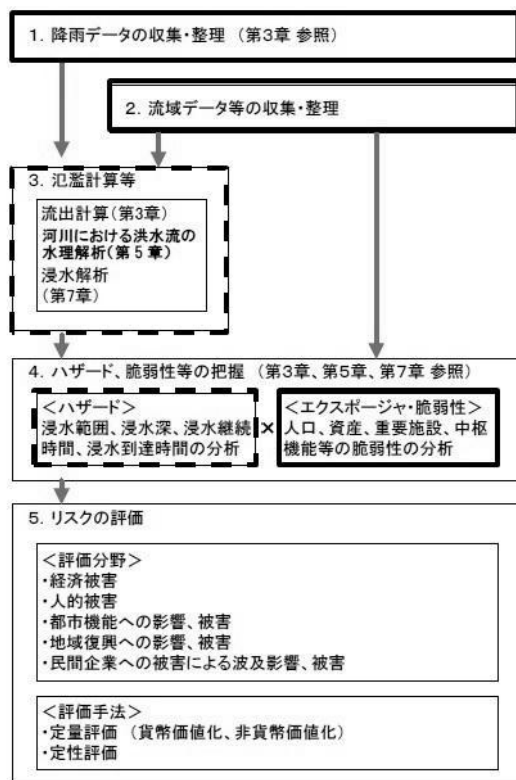


図1 水害リスク評価の手順（河川砂防技術基準調査編の図に課題となるところを強調）

は、第9章において「水害リスク評価」として記述されている。この中で水害リスク評価の手順が示されている。この手順は途上国においても適応可能であり、その個々の手順の中身において我が国と途上国での違いが生じてくる。図1に示すその作業工程の中において太枠で示されているところが途上国におけるデータの量の不足あるいは質の悪さで困難を伴うところであり、太枠波線がそのデータの状況によりシミュレーションモデルの選定にも検討が必要となるところである。そして当然それによって結果も影響を受けることとなる。

上記を踏まえて、本総説では多くの方が途上国で最も苦勞すると思われるデータ収集段階での困難さとそれを踏まえた解析での困難さを整理した。

(2) データの質と量の課題

河川砂防技術基準調査編第2章第2節地上観測所の配置によれば、「a）観測対象区域をおおむね均一の降水状況を示す地域に区分して、各地域に1観測所を配置。b）おおむね均一の降水状況を示す地域に区分することが困難であるときは、観測対象区域をおおむね50km²ごとの地域に区分して、各地域に1観測所を設置するものとする。」となっている。WMOの記録計推奨最小基準⁵⁾では都市域で1カ所あたり10-20km²であるが、山間部では2500km²となっており、利根川と同等の流域規模の途上国の河川流域でも分布密度で大きな違いがある（表1）。

表1 雨量観測所数の比較（出典：河川情報システム、ICHARM資料）

河川名（国名）	流域面積（km ² ）	雨量観測所数（箇所）	観測所あたり面積（km ² /箇所）
利根川（日本）	16,840	420	40.1
ソロ川（インドネシア）	15,840	23	688.6
カガヤン川（フィリピン）	27,280	10	2,728.0
パンパンガ川（フィリピン）	10,540	25	421.6

これに加えデータの質の問題もある。地上雨量、衛星雨量、流量、水位、流出モデル計算結果のいずれが正しいか判断つかない場合も多々あり、河川断面測量データ、H-Q式までさかのぼってチェックすることが必要となる。

また、洪水氾濫シミュレーションは、氾濫状況のクリティカルになる地形地図情報、治水対策施設情報も大きな課題となるため、水文データの状況に加えて地形・施設情報の状況により適用可能な氾濫計算モデルが限られてくる。

(3) 時間とコストの課題

リスクを表現するためには被害の推定が必要となるが、その被害の計算は、極めてデータを集めづらい項目である。我が国の治水経済調査マニュアルの被害推定式についても多くの被災実態調査に基づき膨大な時間とコストをかけて作成している。そのため、被害推定式を出すためには必要な時間とコストを十分に考慮した上で、一定の仮定の下での方法を考え、効率の良いデータ収集と統計的手法による広範囲の推定が必要となる。

3. 途上国で活用可能な洪水リスクアセスメント

手法とは

河川砂防技術基準における洪水リスクアセスメントの検討の流れをもとに、今回メコン川で取組んだ事例を紹介する。今回、洪水リスクアセスメントを実施する工程として浸水深を求める工程と浸水被害を求める工程に分けて考えた（図2）。

(1) 浸水深推定方法

洪水氾濫の浸水深は洪水後に可能な限り詳細に浸水の痕跡やヒアリングにより最大浸水深を求めていくことが必要となるが、途上国では洪水後にそこまでのデータ蓄積を行っていることは極めて少なく、また、もしあったとしても精度は極めて低い。そこで、ここでは衛星情報

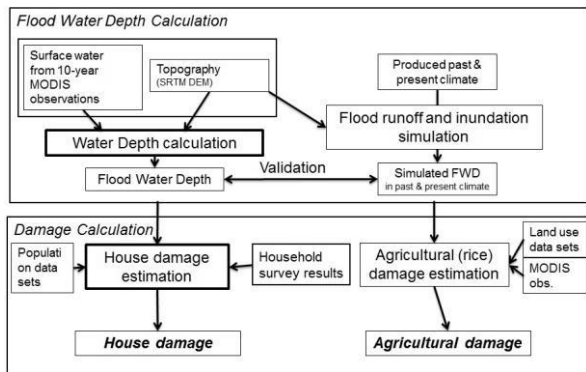


図2 洪水リスクアセスメント手法の流れ

を最大限活用して把握することに取り組んだ。水面を把握できる衛星搭載センサーであるMODIS⁶⁾の情報を活用して、水面の水際における標高を把握し、それに地形データを重ね合わせることでその差分の浸水深を求めた。図3はその一例でメコン川左岸の氾濫域内での氾濫水位と地形データの重ね合わせで氾濫流（図中の点）に沿った水深を取り出している。地形データについては、今回は90m程度の格子サイズを持つShuttle Radar Topography Mission (SRTM3)⁷⁾を活用しているが、より詳細な格子サイズを持つALOS (PRISM)⁸⁾を使うことでより精度が向上することは期待される。しかしながらALOSは高額（有料）であること、入手に時間がかかること、扱いづらいことが言われており、一方の無料DEMで操作性が容易なSRTMの魅力も大きい。また、MODISは多くのデータが無料で入手でき、操作性が容易であり、過去の洪水の分析には活用しやすいことが特徴である。ただし、雲の影響を受けやすく短期洪水には適さない。この分野は衛星センサーデータの合成等によりさらに発展することが期待される。なお、メコン川の本手法の詳細は萬矢らによる別論文を参考とされたい。⁹⁾¹⁰⁾

(2) 浸水深計算方法

洪水氾濫シミュレーションを行う場合、普及している既存のモデルを使用することがあるが、詳細な地形データが必要となることから、測量等の時間的余裕やコスト、詳細な水位データがない場合には他の手法を選択せざるを得ない場合も多々ある。ここではICHARMが開発した不

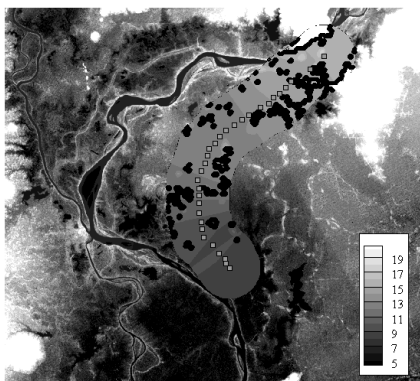


図3 衛星により算定した氾濫水位の一例

十分なレベルに応じて適応可能な手法を紹介する。

a) 降雨流出氾濫モデル(RRI)^{11), 12)}

従来の洪水予測モデルの課題であった低平地で大規模な氾濫が発生するような洪水の予測精度の問題を解決し、大規模な氾濫現象を迅速に推定することを可能とするため、ICHARMでは降雨流出氾濫モデル (Rainfall-Runoff-Inundation: RRI Model) という新たな数値モデルを開発した。このモデルは、流域に降った雨の斜面での挙動および河川に集まる現象、洪水が河川を流下する現象、河川が流下する氾濫原での氾濫の消長現象を流域一体で予測するモデルであり、データの入手状況に応じて衛星地形DEM、衛星雨量でも適応可能である。

b) ICHARM Hydro-Geo Method¹³⁾

メコン川の特徴を踏まえて簡易な氾濫域及び浸水深を推定する方法として開発された手法。①まず、メコン川の季節的にゆっくりとした洪水の特徴を踏まえて限られた水位観測所の水位を内挿して中間地点の河川水位を推定し、②次に、カンボジア平原の農業の特徴であるコルマタージュ（洪水を農地に導く横断方向の開水路）のため河川高水位時には氾濫域の水位とほぼ同じとなる、との特徴を利用して河川沿いの洪水氾濫を推定した。③さらに、衛星地形データ (SRTM-DEM) から浸水深を計算した。メコン川のカンボジア平原と同様に河川堤防がない、あるいは氾濫区域と河川堤防の高低差がない河川であれば適応可能と考えられる。

c) FID モデル¹⁴⁾

NASAのHydroSHEDSから提供されている比標高データ及びFlowデータを活用して、別途流出モデルから求める最大流出量を用いて氾濫域を推定する方法。複雑な計算を要しないことから極めて簡素化した全球レベルの推定などで十分活用可能と考えられる。

これらのシミュレーションモデルで計算された結果は

(1) で求めた浸水深結果、衛星観測結果、現地調査結果等を用いてパラメータ補正が行われることとなる。

(3) 被害推定方法

次にリスクアセスメントで課題となるのは被害額の推定手法である。我が国の場合は治水経済調査マニュアル¹⁵⁾において一般家屋の被害推定式が定まっているところであるが、途上国の洪水を対象としたリスクアセスメントで被害額推定をしている例はあまり無く、この関係式を求めることは今後の途上国の洪水アセスメントの技術向上に非常に貢献することとなる。

2008年にメコン川委員会で実施した2006年洪水被害調査のデータに2012年にICHARMで行った追加現地調査結果を追加して、上流側と下流側の家屋形態の違いも加味した浸水深と家屋被害の関係式を求めている。さらに、平均洪水位を基準とした家屋の鉛直資産分布関係がガンマ関数として表現され、その傾向が他の地区にも適応可能であることから代表値として他地区における分布形を適

応した推測を行っている。今後はさらにその関係式を高床と被害の関係、家屋価値と敷地面積の関係等の分析を行い、より簡便な手法で被害推定ができる試みを行うこととしている。

また、ネパールの西ラプティ川での家屋被害額の推計は、家屋価値が屋根の構造によって大きく変わっていたことから、屋根の映像をもとに特定して、それぞれの家屋の被害曲線をあてはめて推算したという事例もある。¹⁶⁾

なお、農業被害についても過去のメコン川委員会の成果において浸水深と浸水時間により被害が決定するという被害曲線が整理されており、これに乾季からの累積雨量を基準として田植えの時期の特定、稲の生長期間を考慮し、これに別途求められた浸水深からメッシュ毎の浸水深と浸水時間を計算して被害の総計を推算している。

4. まとめ

本論文では特に最近進展著しい衛星情報の活用と最近開発された技術の組み合わせ、さらには現地調査の分析で、データが乏しい途上国においてもおおよそのリスク評価を可能としているICHARMで最近取組んでいる手法を中心に紹介した。それぞれの技術は決して新しいものではないがそれを組み合わせることで洪水氾濫、リスクアセスメントの解析に有効な新たな結果が得られた。今回、本河川技術シンポジウムでさらに有効な技術が紹介されていると思われるが、それらをさらに統合していくことでこの分野の技術はより向上していくものと思われる。

ICHARMでは今回の提案技術のさらなる向上に引き続き取組んでいるとともに、今回の手法をもとにして、文部科学省気候変動リスク情報創生プログラムにおいては、入力データを将来の気候変動下における雨量として将来の影響を把握することとしている。

さらに、衛星雨量データの補正手法開発¹⁷⁾にも取組んでいくとともに、他の流出モデルの開発・改良によるリスクアセスメントへの適応も探っているところでもある。また、リスク情報を統合したリスク評価指標の開発にも取組んでいる。

今日、科学技術は日進月歩であり、また直ちに見直しがされる可能性は高く、ICHARMが取組んだものが全てとはいえないのは当然であるが、セッションで紹介される他のすばらしい論文も含めてさらにこの分野の技術の向上を考えていく上でのきっかけにいただければ幸いである。

参考文献

- 1) ポスト2015年開発目標（ポストMDGs）外務省HP
http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/doukou/mdgs/p_mdgs/index.html

- 2) Remarks to Special Thematic Session of the General Assembly on Water and Disasters
[https://www.un.org/apps/news/infocus/speeches/statments_full.asp?statID=1783](https://www.un.org/apps/news/infocus/speeches/statements_full.asp?statID=1783)
- 3) UNISDR, 2009 UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction, 2009UNISDR Geneva) 国連国際防災戦略 (ISDR) 防災用語集(2009 年版) 日本語版; 京都大学防災研究所HP
- 4) 河川砂防技術基準調査編 (平成24年6月版)
- 5) WMO, Guide to Hydrological Practices(WMO No.168) 6th Edition, 2008, I.2-24
- 6) Kwak, Y. et al. 2012. Estimation of flood volume in Chao Phraya river basin, Thailand from MODIS images coupled with flood Inundation level, IEEE-IGARSS2012, pp. 887-890.
- 7) Shuttle Radar Topography Mission
<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>
- 8) 萬矢ら、氾濫解析のためのPRISM DSMの活用とGPSを用いたその修正方法に関する研究、土木学会論文集B1(水工学)Vol. 69, No. 4, I_1549-I_1554, 2013
- 9) 萬矢敦啓・上米良秀行・岡積敏雄・郭栄珠：人工衛星データを用いた洪水氾濫水位の算出手法の検討～メコン川下流域を例として～、河川技術論文集、第19巻、2013年6月
- 10) 文科省研究開発局 平成25年3月：気候変動リスク情報創生プログラム 課題対応型の精密な影響評価 平成24年度成果報告書, pp69-71
- 11) 佐山敬洋、建部祐哉、藤岡 奨、牛山朋来、萬矢敦啓、田中茂信、2013：2011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
- 12) Takahiro Sayama, Go Ozawa, Takahiro Kawakami, Seishi Nabesaka and Kazuhiko Fukami (2011): Rainfall-Runoff-Inundation Analysis of Pakistan Flood 2010 at the Kabul River Basin, Hydrological Science Journal, IAHS
- 13) Shresta et al. Development of flood vulnerability indices for lower Mekong basin in Cambodian floodplain, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 69, No. 4, I_1-I_6, 2013
- 14) Kwak, Y., K. Takeuchi, J. Magome and K. Fukami, 2012:A new approach to flood risk assessment in Asia-Pacific region based on MRI-AGCM outputs, Hydrological Research Letters
- 15) 治水経済調査マニュアル (国土交通省2007)
- 16) 21世紀気候変動予測革新プログラム 超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究 平成23年度研究成果報告書、平成24年3月文科省研究開発局, pp211
- 17) 白石芳樹、深見和彦、猪股広典、2009：雨域移動情報を活用した衛星観測雨量データ補正方法の提案－吉野川流域の事例解析－、水工学論文集、第53巻、pp385-390

(2013. 4. 4 受付)