

限られた情報下における洪水リスクアセスメントで生じる不確実性の評価

岡積敏雄・宮本 守・シュレスサ バドリ バクタ・グスエフ マクシム

1. はじめに

現在、国連の次期ミレニアム開発目標や次期兵庫行動枠組の議論が行われている。その中で災害の事前対策の重要性が言われている。洪水リスクアセスメントは洪水災害の適切なリスク低減方法を選定するための欠かせない取り組みとなる。ただし、途上国ではまだこの分野に対しては十分な取り組みが行われているとは言えない。特に洪水リスクアセスメントを行うに当たっての流域の地形、土地利用、社会、水文、過去災害の被害に関するデータが極端に不足していることから十分な解析ができないことが多い。

土木研究所水災害リスクマネジメント国際センター（ICHARM）では、アジア開発銀行技術協力TA7276プロジェクト、文部科学省気候変動情報創生プログラムなどにおいて、途上国の洪水リスクアセスメントのより妥当な成果の追及に取り組んできている。その際、各国の観測データの精査はもとより、ICHARM開発のモデル活用、衛星等の入手可能な情報を加えて取り組んでいる。

本研究^{1),2)}はICHARMが取り組んできている洪水リスクアセスメントの成果をもとに、途上国の限られた情報で行われる洪水リスクアセスメントの不確実性についての分析を行ったものである。この成果は途上国の洪水リスクアセスメントの不確実性の程度を把握し、効率的対策を導き、最終的には災害被害の軽減に繋がるものと期待される。

2. 評価の手順

2.1 不確実性評価の手順

計測データの信頼性を表すための新しい尺度として「不確かさ」という考え方が国際度量衡委員会を中心とする委員会で「計測における不確かさの表現のガイド」（GUM）³⁾がまとめられ、信頼性が重要な場面で広く利用されることとなった。

GUMによれば、不確実性評価は、まず不確か

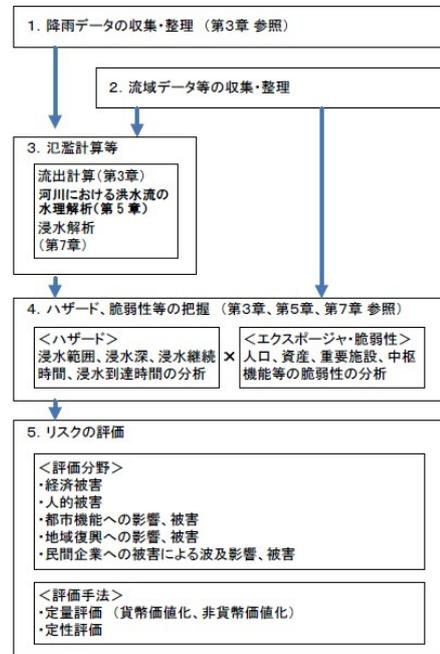


図-1 洪水リスクアセスメントの標準的進め方⁴⁾

さが生じる要因を抽出し、個々の不確かさを求め、その合成により全体の不確かさを求める手順で行う。今回はそれに加えてドイツにおける洪水リスクアセスメントの事例研究であるB. Merzら⁵⁾の論文を参考にして行った。洪水リスクアセスメントの標準的進め方を図-1に示すが、不確実性が生じる要因として今回注目したのは途上国で問題となる観測データの精度、洪水氾濫時の現象や被害情報の不足からくる流出・氾濫モデルおよびリスク評価モデルの精度により生じる不確実性である。

3. ケーススタディ

3.1 対象流域

本研究ではフィリピンのパンパンガ川を対象とした。パンパンガ川は流域面積10,434km²でマニラ首都圏から車で1時間圏内の急速な発展をしている地域でフィリピンの重要な穀倉地帯にもなっている。中下流域は平坦で湿地が広がり、洪水時には遊水機能を有している(図-2)。1970年代から日本の援助で水文観測設備が整備されてきており、雨量観測所18カ所、水位観測所11カ所で途上国

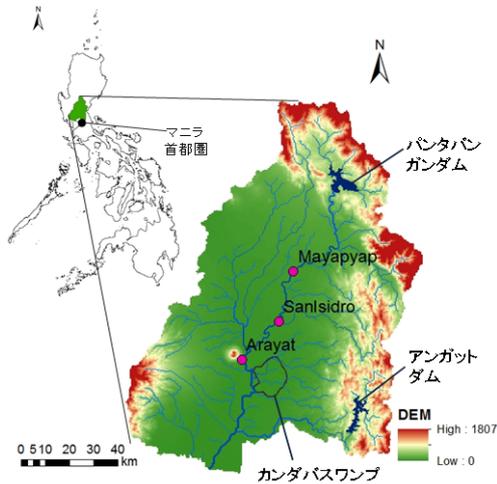


図-2 パンパンガ流域

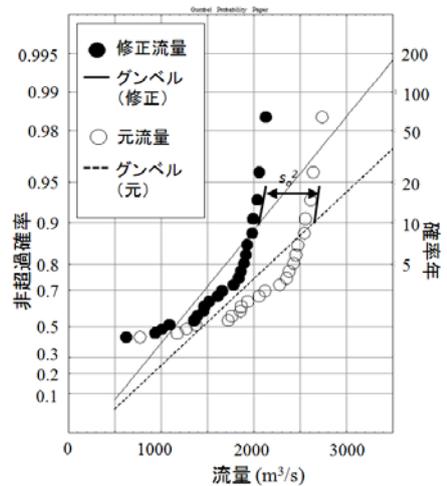


図-4 流量精査比較図

にしては比較的充実しているが、観測設備の維持管理、データ管理等の問題がある。

3.2 観測データ

3.2.1 雨量データの精査

洪水分析にあたって雨量データの存在が大きな問題となることが多く、それによって解析手法も変えなければならないことも生じる。特に、よくあることは欠測である。観測期間は長期であることが確率規模の整理の点で重要であるが、観測期間中に欠測が多いと極めて短期間のデータしか使えないというジレンマにもなる。ここでは、欠測期間中の洪水被害情報から、被害が大きくない、すなわち確率評価を変えるほどの大きな雨量が発生していないという確認を行ったうえで欠測期間も対象に含めることとした。具体的には、今回の観測期間は33年間であるが、うち11年間は大幅な欠測日数を含んでいるがその年に大きな被害・雨量が生じていないことを確認して観測期間とし

て考慮することとした。当然、確率評価が変わる大きな雨量が想定される被害記録がある場合は観測期間の再検討が必要となる。

また、欠測観測所が生じると流域平均雨量の変更となる。この流域では観測所毎に観測期間が異なるため、全雨量観測所と長期間データが揃っている5地点、の2パターンでそれぞれ流域平均雨量を算定し、両者の比較をグンベル確率紙上で整理したが、大きな差はなかった(図-3)。

3.2.2 流量データの精査

流量データをパンパンガ川の代表流量観測点(Arayat)で見ると、過去24年間の流量データの年最大日平均流量がほぼ観測されていたことから図-4のグンベル紙上の○点で整理した。

しかしながら、現地河道状況の調査からみて、HQ式算定時データが、河床形状、流速、流量連続性に疑問が生じたため、HQ式の見直しを行い、修正HQ式による流量を●とした。我が国では繊細なチェックが恒常的に行われているが、途上国では十分ではないため、検討に際して総体的なチェックを慎重に行うことが必要となる。

これらの流量をもとにグンベル紙上に最適線で整理したのが図-4で、この図から観測流量と見直し流量を変動係数(CV)(式(1))で見ると10年確率規模での観測値変動係数(CV₀)は15%であった。

$$CV = \sigma / \mu \quad \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

ここでσ：偏差、μ：平均値である。

3.3 再現計算

今回、パンパンガ川の洪水流出計算は土研分布モデルの総合洪水解析システム(IFAS)⁶⁾とブロッ

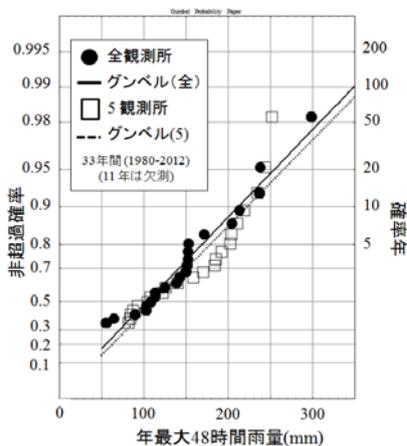


図-3 雨量の比較図

ク型TOPモデル(BTOP)⁷⁾を使用した。途上国では地形、地質、雨量等データの入手が困難なため衛星情報の活用ができるモデルが有効となる。

今回は既往の大洪水のうち比較的長時間流量を有している3洪水を対象としてパラメータ設定を行い、比較できるデータが揃っている5洪水で比較を行った。結論として、San Isidro地点の観測流量 Δ に対して、BTOP \blacklozenge とIFAS \blacksquare は一定の傾向がなくバラつきが生じ(図-5)、10年確率規模で再現計算の変動係数(CV_m)は42%であった。

3.4 リスク評価

3.4.1 被害推定上の課題

洪水リスクアセスメントの最終段階として、目標規模の洪水による浸水範囲、浸水深、浸水時間の再現計算に人口、資産等の情報を重ね合わせて被害を計算し、リスクとして評価する。

しかしながら、途上国では被害情報が十分に収集されておらず、もしされていても細かく分類できないため、他の情報を元に被害算定式を作り出すことが必要となる。そのため、農業被害、家屋被害を推定することだけでも大変な労力となる。

3.4.2 本事例での被害算定

パンパンガ川での被害を算定するにあたり、農業がこの地域の主要な産業であるため、稲作の被害を代表的被害として計算することとした。浸水による稲の被害は、農業統計局が定めた被害算定式があり、洪水被害後に農業省地方事務所の職員の調査に基づき算定する。ただし、算定式適用の仕方や担当職員の判断により、不確実性が伴う。

再現計算による浸水域、浸水時間、浸水深の算定は降雨流出氾濫モデル(RRI)⁸⁾を使用した。500mメッシュ毎に①土地利用図から稲作耕作地

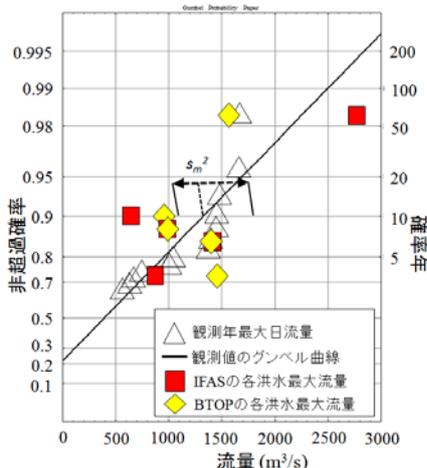


図-5 再現計算比較図

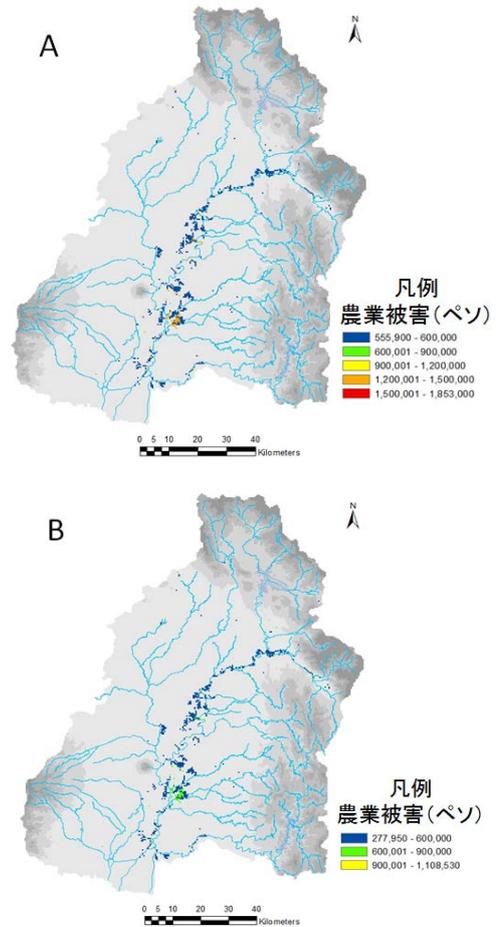


図-6 2011年洪水を10年確率規模に縮小再計算した農業被害額計算図(A最大:B最小,1ペソ \approx 2.4円)

を抽出、②農事歴と計算洪水時期から稲の成長段階を特定、③RRI計算結果の湛水日数と湛水深をもとに各被害曲線を用いて被害を算定、集計して全被害を計算するという手順で行った。

図-6は2011年洪水を10年確率規模に雨量を縮小して再計算、被害算定式をもとに計算した最大値Aと最小値Bである。ここで10年確率規模のリスク評価の変動係数(CV)は45%となった。

4. 結論

Merzら⁵⁾の研究は、データが豊富なライン川の事例で浸水再現計算段階の不確実性が大きいと紹介されており、本研究の変動係数でみた比較でリスク評価段階が大きいという結果と異なっていた。これは今回の事例から見ても途上国のデータ存在状況に大きく関係しているものと考えられる。

また、洪水リスクアセスメントは一般の手順から各段階の結果が前の段階に遡ることがないので、不確かさの一般的伝搬式の関係が成り立つと考えられ、そのイメージは図-7のとおりとなる。その

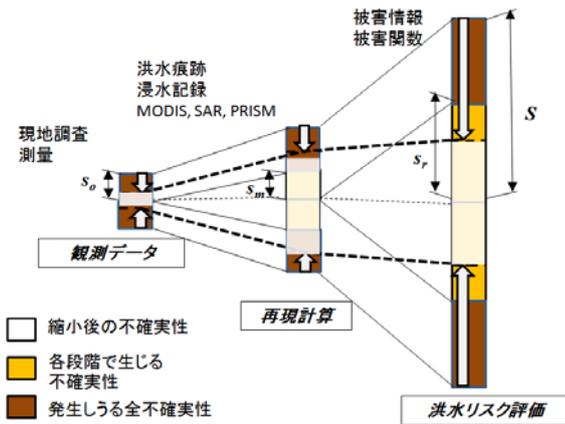


図-7 不確実性の伝搬及び縮小の概念図

関係は式(2)³⁾で表せる。

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) \quad \dots \text{式(2)}$$

ここで数値モデル $y=f(x_1, x_2, \dots, x_N)$ 、測定値 y の合成標準不確かさ $u_c(y)$ 、入力値 x_i の標準不確かさ $u(x_i)$ である。

今回の検討では一般的伝搬式をあてはめるには至らなかったが、洪水リスクアセスメントの手順からみて各段階で不確実性を可能な限り小さくする努力は全体の不確実性の縮小に貢献することとなる。そのため、通常データの整備はもとより衛星等の情報を最大限活用し不確実性を小さくする努力が必要となる。さらに、途上国でも災害被害情報を始めとして可能な限り信頼性の高いデータを収集、蓄積ができる体制の整備は洪水事前対策の普及・充実・効率化のために急務といえよう。

謝 辞

本研究はアジア開発銀行TA7276、文部科学省創生プログラムで行った現地調査結果を使用した。また、本研究をまとめるにあたり、角哲也教授、

田中茂信教授を始めとする京都大学の先生方にご指導を頂いた。あわせて謝意を表します。

参考文献

- 1) Toshio OKAZUMI, "Uncertainty Estimation and Reduction Measures in the Process of Flood Risk Assessment with Limited Information", A dissertation presented to the Faculty of the Graduate school of Kyoto University, April 2014.
- 2) Toshio OKAZUMI, Mamoru Miyamoto, Badri Shrestha, Maksym Gusyev, "Uncertainty Estimation during the Process of Flood Risk Assessment in Developing Countries - Case Study in the Pampanga River Basin -", Journal of Disaster Research, Fuji Technology Press Ltd., Vol.9, pp.69-77, Feb.2014.
- 3) Joint Committee for Guides in Metrology, "Evaluation of measurement data - guide to the expression of uncertainty in measurement", JCGM 100:2008, GUM 1995 with minor corrections, corrected version 2010.
- 4) 国土交通省：河川砂防技術基準調査編(平成24年6月版)
- 5) Merz, B., Thielen, A.H.: "Flood risk curves and uncertainty bounds", Natural Hazards, 51, 3, 437-458; DOI:10.1007/s11069-009-9452-6, 2009
- 6) Sugiura T., Fukami K., Fujiwara N., Hamaguchi K., Nakamura S., Hironaka S., Nakamura K., Wada T., Ishikawa M., Shimizu T., Inomata H., Ito K.: "DEVELOPMENT OF INTEGRATED FLOOD ANALYSIS SYSTEM (IFAS) AND ITS APPLICATIONS", Proceeding of the 8th International Conference on Hydroinformatics (HIC2009), 2009.
- 7) Takeuchi K., Hapuarachchi P., Zhou M., Ishidaira H., Magome J., "A BTOP model to extend TOPMODEL for distributed hydrological simulation of large basins." Hydrological Processes, 22: 3236-3251, 2008.
- 8) Sayama T., Ozawa G., Kawakami T., Nabesaka S., Fukami K.: "Rainfall-Runoff-Inundation Analysis of Pakistan Flood 2010 at the Kabul River Basin", Hydrological Science Journal, IAHS, 2011.

岡積敏雄



国土交通省総合政策局国際建設管理官(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 研究員、工博
Dr. Toshio OKAZUMI

宮本 守



(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 研究員、工博
Dr.Mamoru MIYAMOTO

シュレスサバドリ バクタ



(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 研究員、工博
Dr. Badri Bhakta SHESTHA

グスエフ マクシム



(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、工博
Dr. Maksym GUSYEV