1.5. アジアにおける水災害リスク評価と適応策情報の創生

課題代表者:鈴木 篤

(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長)

(土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター) 鈴木 篤・岩見洋一・澤野久弥・徳永良雄・千田容嗣・津田守正・栗林大輔・佐山敬洋・大原 美保・Shrestha Badri Bhakta・工藤 俊・萬矢敦啓・宮本 守・牛山朋來・長谷川聡・郭 栄珠・E.D.P Perera・小関博司・上米良秀行・Maksym Gusyev・LIU Tong・山﨑祐介・萩原葉子・南雲直子・竹内邦良・小池俊雄(山梨大学 大学院医学工学総合研究部) 馬籠 純

a. 要約

平成 26 年度は、流域スケールでの影響評価基本技術の開発では、特定脆弱地域のうち流域面積の小さいパンパンガ川流域について、GCM 実験データの力学的ダウンスケーリングを行い、河川流域スケールでの降水量の将来変化を予測した。また、対象河川流域における具体的な洪水の影響評価を行うため、インドネシア・ソロ川流域を対象に RRI モデルを適用し、実測雨量、MRI-AGCM3.2S 現在気候、MRI-AGCM3.2S 将来気候の降雨量を入力した結果を用いて降雨量と流量・氾濫量の関係分析及び流量・氾濫量の頻度解析を実施した。メコン下流域を対象に RRI モデルを適用し、APHRODITE による雨量を入力し、対象領域内の流量再現性を確認した。タイ・チャオプラヤ流域を対象に AGCM3.2S(RCP8.5)による降雨量と気象要素から算定した可能蒸発散量とを降雨流出氾濫 (RRI) モデルに入力し、降雨と氾濫の応答関係を分析した。特定脆弱地域での影響評価では、洪水・渇水リスク評価を検討するため、パンパンガ川流域を対象にして BTOP モデルを用いて流出予測シミュレーションにより渇水の影響を、さらに、RRI モデルにより 2011 年、50 年確率、100 年確率の洪水での浸水期間や洪水深を求め、洪水農業被害の影響を検討した。

カンボジア・メコン川、ソロ川、パンパンガ川において現地調査を行い、洪水・渇水脆弱性の 実態把握や洪水被害等の社会経済影響評価のための情報収集・整理を行った。

b. 研究目的

本研究は、土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター(ICHARM)が 21 世紀気候変 化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」(革新プロ)ほかで開発してきた流域規模分布型水文モデル、GCM 降雨バイアス補正手法等によるハザード評価研究を、アジアの水災害が懸念される複数の特定脆弱地域に当てはめ、水災害リスクの社会経済影響評価を行い、気候変化適応のための主要課題解決に向けた計画立案、意思決定等に必要な情報を創出するものである。

特定脆弱地域としては、最近大きな水災害を経験し、気候変動影響も大きいと予想される地域の代表として、パキスタンのインダス川、タイのチャオプラヤ川、メコン川、インドネシアのソロ川、ならびにフィリピンのパンパンガ川を対象とする。

c. 研究計画、方法、スケジュール

本研究は、以下のサブ課題群で構成する。

小課題(1) 流域スケールでの影響評価基本技術の開発

- (1-1) 不確実性を考慮した河川流域スケールでの GCM 予測値に基づく洪水・渇水ハザード予測値の現地適用 (ローカルカスタマイズ) 手法の開発
 - ① GCM による降水量予測値の不確実性を考慮した河川流域スケールでの利用手法の開発

- ② GCM による河川流出量(洪水・渇水)予測値の不確実性を考慮した河川流域スケールで の利用手法の開発
- ③ GCM 降雨予測値を用いた不確実性を考慮した河川流域スケールでの洪水氾濫予測手法の 開発
- (1-2) 社会経済評価のための基本技術の開発
- ① 洪水リスク評価モデルの改良
- ② 渇水リスク評価モデルの開発
- ③ 水マネジメントシステムにおける洪水リスクと渇水リスクの適正な配分の検討
- ④ 脆弱性モニタリングシステムおよび対策指標の開発

小課題(2)特定脆弱地域での影響評価(具体的な河川流域での事例研究)

- ① インダス川流域
- ② メコン川中下流域
- ③ チャオプラヤ川流域
- ④ ソロ川流域
- ⑤ パンパンガ川流域

実施期間を平成24年度~平成28年度の5年間とし、以下の年次計画、方法で実施する。

【平成24年度】

特定脆弱地域としてまず先行研究対象とする河川流域を選定する。それら流域において、流域 スケールでの洪水・渇水ハザード評価を行うために必要なダウンスケーリングに着手する。

また、流域スケールでの水文流出解析モデルの構築と併せて社会経済影響評価のための情報収集・整理を行い、洪水・渇水リスク評価モデルの開発に着手する。

【平成25年度】

特定脆弱地域のうち、小規模流域では MRI- AGCM3.28 による現在気候実験データの力学的ダウンスケーリングに着手する。大規模流域では CMIP5 等の現在気候および将来気候予測実験のバイアス補正および統計的ダウンスケーリングを実施する。また、渇水から洪水までを長期連続的に再現する流出解析モデルと、降雨を入力して流域一体で氾濫現象を再現する流出氾濫モデルの構築と特定脆弱地域における検証を行う。

【平成26年度】

複数の対象河川流域における CMIP5 の各種実験の大気の力学的ダウンスケーリングを開始し、極端イベントのサンプル数を増やす。一方、現地河川流域スケールでの洪水・渇水ハザード指標とその不確実性の分析を行う手法を提案し、対象河川流域における具体的な評価に着手する。

また、洪水リスクについて、洪水に対する脆弱性をグローバル GIS データ等から評価する手法を開発する。一方、各対象流域内における社会構造の変化シナリオを設定し、それに基づく将来水需要および水ストレスの推定に着手する。

【平成27年度】

ダウンスケーリング手法について修正を行い、対象河川流域における各種 RCP シナリオ実験について大気の力学的ダウンスケーリングを行う。また、現地河川流域スケールでの洪水・渇水ハザード指標とその不確実性の予測結果をとりまとめる。

さらに、洪水リスク評価モデルや渇水リスク評価モデルを構築し、将来の気候変動による影響 評価を行う。

【平成28年度】

河川流量解析システムや社会構造の変化予測の最終成果を活用し、洪水/渇水ハザードの変化

の社会経済影響評価結果を整理するとともに、洪水・渇水リスクの変化予測結果についてとりま とめる。

d. 平成 26 年度研究計画

平成 26 年度は、 \mathbf{c} .に示した小課題(1)では、(1-1)の①~③、(1-2)の①②について引き続き進展させている。また、これらの研究に必要な情報収集を図るため、対象河川流域での現地調査を実施している。今年度は、メコン川中下流域(②)、チャオプラヤ川流域(③)、ソロ川流域(④)およびパンパンガ川流域(⑤)における現地調査を行っている。

e. 平成 26 年度研究成果

1.5.1. 流域スケールでの影響評価基本技術の開発

1.5.1.1. GCM による降水量予測値の不確実性を考慮した河川流域スケールでの利用手法の開発

本研究は、特定脆弱地域のうち流域面積の小さいパンパンガ川流域について、GCM 実験データの力学的ダウンスケーリングを行い、河川流域スケールでの降水量の将来変化を予測する。さらに、降水量データを用いて流出氾濫計算を行い、洪水リスクの将来変化を予測する。

昨年度から、MRI-AGCM3.2S(20km 間隔)の出力データを用いて力学的ダウンスケーリングを進めている。領域モデルはWRFを用いており、対流パラメタリゼーションはKain&Fritschを用いた。

フィリピン・パンパンガ川流域で水平解像度 15km と 5km へのダウンスケーリング実験を行った。平成 25 年度は、計算機資源の制約から、豪雨が発生した 1 週間を対象に 2 kmまでのダウンスケーリングを行った。ダウンスケーリングに用いる領域気候モデル(RCM)の統計的性質を把握するためには、通年のデータが必要である。そこで、今年度は解像度を 5 kmに変更して全期間でダウンスケーリング計算を行った。

図 1.5-1 は、RCM によるダウンスケーリング計算結果が、地上雨量計に比べてバイアスがあることを示している。図 1.5-1 (中) の現在気候では、頻度解析の Gumbel 直線(赤実線)が地上雨量計のもの(青一点鎖線)よりも年最大雨量が小さく、確率雨量を過小評価していた。また、出現頻度が小さいほど過小評価傾向が大きくなった。図 1.5-1 (右)の将来気候実験の結果は、現在気候に比べて確率雨量が増大することを示した。しかし、こちらも同様にバイアスを含むものと考えられる。

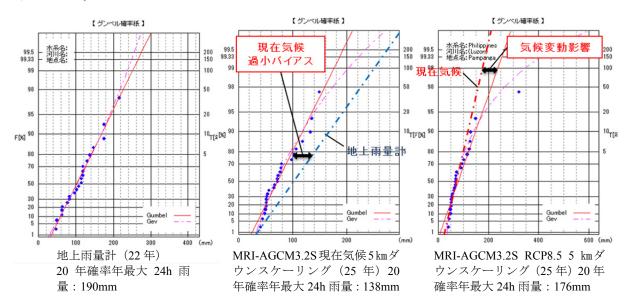


図 1.5-1: パンパンガ川流域の年最大 24 時間雨量の頻度解析。(左)地上雨量計、(中)MRI-AGCM3.2S 現在気候のダウンスケーリング、(右)MRI-AGCM3.2S RCP8.5 将来気候のダウンスケーリング

図 1.5-2 は、地上雨量計とそれに対応する地点の現在気候ダウンスケーリング結果について日雨量別出現頻度を示したものである。この図から、両者の雨量出現頻度は異なっており、RCM の結果は日雨量 100mm 以下では出現頻度が過大であり、日雨量 150mm 以上の豪雨では出現頻度が過小となっていた。この 150mm 以上の RCM の過小評価傾向が、図 1.5-1 の頻度解析の過小評価につながるものと言える。また、月平均値では、ダウンスケーリング結果は雨量計の 2 倍程度過大となった(図は省略)。このような地上雨量計と RCM の雨の特性の違いを修正するようなバイアス補正が必要である。

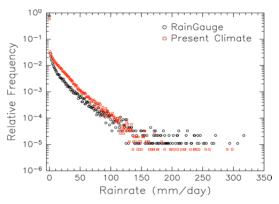


図 1.5-2: 地上雨量計(黒丸)とそれに対応する地点における現在気候ダウンスケーリング結果(赤四角)の日雨量別出現頻度

1.5.1.2 ソロ川流域の洪水氾濫特性と将来の洪水氾濫の変化の推定

インドネシア・ジャワ島の中部から東部に位置するソロ川流域(流域面積:15,752km²)を対象にRRIモデルを適用し、実測雨量、APHRODITE(V1101)(1979年~2003年)、MRI-AGCM3.2S 現在気候(1979年~2003年)、MRI-AGCM3.2S 将来気候(2075年~2099年)の降雨量を入力し出力された結果を用いて降雨量と流量・氾濫量の関係分析及び流量・氾濫量の頻度解析を実施した。なお、流量はソロ川中流部に位置する Cepu 観測所(集水域面積:10,886km²)の流量を用いた。

(1) 入力降雨の作成

洪水氾濫解析を実施するために各年の降雨イベントを以下の手順で作成した。

- 1) 年最大流量をもたらす降雨期間を調べるために、実測流量及び実測雨量がともに存在する 2003 年~2009 年それぞれにおいて、年最大流量と、その発生日までのソロ川流域平均雨量の X 日積算値の相関係数を算出した結果、年最大流量とソロ川流域平均雨量の 4 日積算値(以下、4 日積算雨量)の相関係数が最も高かった。
- 2) 当該イベントによる洪水がピーク流量を記録するために十分長いと考えられる期間として、4 日積算雨量が一年間の中で最大となる4日間に、助走期間4日、洪水逓減期間4日を加えて 12日間の降雨イベントを作成した。

(2) 4日積算雨量とピーク流量・最大氾濫量の関係

図 1.5-3 は 4 日積算雨量とピーク流量の関係を示している。4 日積算雨量が 125 mm となる将来 気候の洪水に対応する流量は約 3,000 m³/s となっている。さらに 2007 年実績洪水も 4 日積算雨量は 167 mm と大きいものの、ピーク流量は約 3,000 m³/s である。異なる 4 日積算雨量がほぼ同じ流量をもたらしている理由は、流量が 3,000 m³/s 付近に達するとそれ以上の規模の流量の大半は氾濫量に分配されるためと推察される。図 1.5-4 は 4 日積算雨量と最大氾濫量との関係を示している。 なお、氾濫量はソロ川流域のうち Wonogiri ダム下流域部分の氾濫ボリュームを対応する面積で除した値であり、最大氾濫量は各年の計算期間中の最大の氾濫量のことである。 APHRODITE、MRI-AGCM3.2S 現在気候、MRI-AGCM3.2S 将来気候に対して 4 日積算雨量と最大氾濫量を線形近似した場合、その回帰係数は約 0.6 になる。一方、4 日積算雨量が特に大きくなる 3 イベントについては回帰直線で推定される値よりもさらに最大氾濫量の増加が大きく、これは上述のように Cepu 付近の流下能力を超える洪水が発生する場合に、流出の多くが氾濫に分配されるためであると推察される。

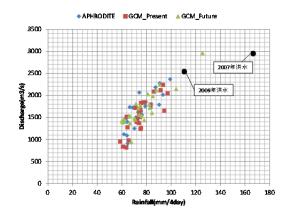


図 1.5-3: 4日積算雨量とピーク流量の関係 (図中の 2007 年洪水及び 2009 年洪水は 実測雨量及び観測されたピーク流量を示す)

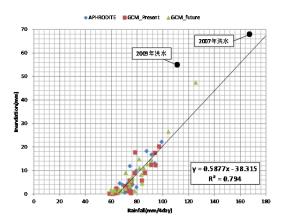


図 1.5-4: 4日積算雨量と最大氾濫量の関係 (図中の 2007 年洪水及び 2009 年洪水は実測 雨量及び実測雨量を RRI モデルに入力して 出力された最大氾濫量を示す)

(3)ピーク流量・最大氾濫量の頻度解析

図 1.5-5 はピーク流量の頻度解析結果である。リターンピリオド 10 年よりも長くなると現在気候と将来気候の差が広がってくる結果となった。また、リターンピリオド 2 年よりも短いデータでも現在気候よりも将来気候の方が大きな値を示す結果となった。

図 1.5-6 は最大氾濫量の頻度解析結果である。リターンピリオド 10 年より短いデータでは現在 気候と将来気候で明瞭な差が見られない一方で、リターンピリオドが長くなると両者の差は広がることが分かる。つまり、将来では大規模な最大氾濫量の頻度が増加し、規模がさらに大きくなることが示唆されている。

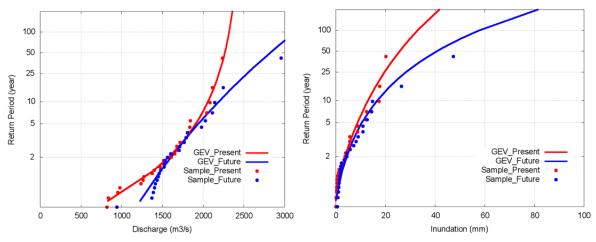


図 1.5-5:ピーク流量の頻度解析結果

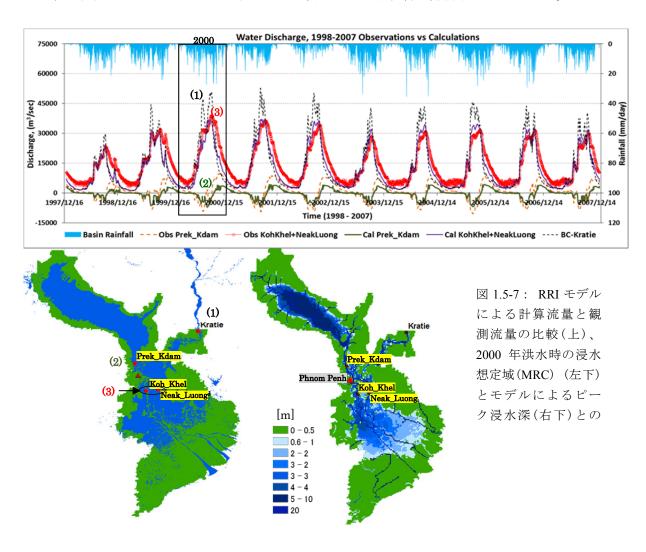
図 1.5-6:最大氾濫量の頻度解析結果

(赤: MRI-AGCM3.2S 現在気候、青: MRI-AGCM3.2S 将来気候、双方とも確率密度関数は GEV を使用)

1.5.1.3 メコン下流域を対象にした降雨流出氾濫シミュレーションの検証

対象 5 流域のひとつであるメコン川流域では、カンボジアのクラティエ地点下流を浸水解析の対象にする。対象とする領域の面積は $103,350~\rm{km}^2$ であり、メコン全流域の約 13%を占める。この領域に RRI モデルを適用し、クラティエ地点の流量と降水・蒸発散量を入力して長期の流出・氾濫現象を推定する。本検討では、まず $1998~\rm{ff}$ 年から $2007~\rm{ff}$ 年までのクラティエ観測流量とAPHRODITE による雨量を RRI モデルに入力し、対象領域内の流量再現性を確認した。図 $1.5-7~\rm{ff}$ に Prek Kdam 地点と Koh Khel (バサック川)+ Neak Luong(メコン川)地点の観測と計算の比較

を示す。前者の地点はメコン本川とトンレサップ湖との間に位置しており、雨季は観測・モデルともに流量が負になっており、本川からトンレサップ湖に流入している。また後者の地点はプノンペン下流で本川とバッサック川に分流した後の地点であり、分流比が明らかでないため、両者を合計した流量で観測と計算を比較している。合計のピーク流量は、境界条件として設定したクラティエ地点のピーク流量よりも 10,000 m³/s 程度小さくなっており、この傾向をモデルは妥当に表現している。ただし、ハイドログラフの逓減部はモデルが過小評価傾向にあり、その原因のひとつは Prek Kdam 地点でも確認されるトンレサップからの流入の過小評価と考えられえる。またRRI モデルで計算されるピーク時の浸水深は図 1.5-7 に示したとおりであり、この妥当性については今後メコン流域委員会(MRC)からも情報を収集しながら検証を進める。これらの検証が終われば、別途 BTOP モデルで推定する将来気候に対するクラティエ地点の河川流量を RRI モデルに入力し、気候変動がメコンデルタ地帯における浸水に及ぼす影響を分析する予定である。



1.5.1.4. チャオプラヤ川流域における 2011 年洪水時の降雨量と氾濫量の統計的評価とその将来変化

AGCM3.2S(RCP8.5)による降雨量と気象要素から算定した可能蒸発散量とを降雨流出氾濫 (RRI) モデルに入力し、降雨と氾濫の応答関係を分析した。降雨量と氾濫量にそれぞれ Gumbel 分布と指数分布を当てはめて非超過確率を算出し、それらが現在から将来にどのように変化するかを分析した。

分析には AGCM3.2S の計算ケースのうち、現在(1979 - 2003) SPA_m01 と将来(2075 - 2099)の SFA-rcp8.5 及び海面水温のクラスタのアンサンブル c1-c3 を加えた現在1、将来4の全5ケースを用いた。 佐山ら(2013)によれば、年最大の氾濫量は、それが生起するまでの6ヶ月間累積雨量と相関が高くなる(R^2 = 0.85)ことが分かっている。以下では、同様に6ヶ月雨量と最大氾濫量について分析する。

図 1.5-8 に現在と将来における、6 ヶ月雨量及び年最大氾濫量と非超 過確率/再現期間との関係を示す。 佐山ら(2013)による 1960 年から 2011 年の観測雨量を用いた分析結 果も合わせて表示した。

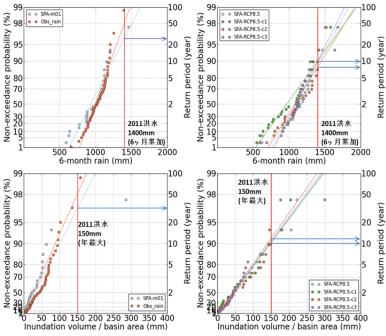


図 1.5-8:降雨量と氾濫量との非超過確率/再現期間の関係

現在の6ヶ月雨量は、1000mmか

ら 1200mm の範囲において、観測値と AGCM がほぼ同程度の再現期間を示すが、それ以下の領域では AGCM が過小、それ以上の領域では AGCM が過大傾向にあるため、Gumbel プロットの傾きは AGCM の方が小さくなっている。その結果、例えば 2011 年の実績降雨量 1400 mm の再現期間は、観測情報に基づけば約 50 年になるのに対し、AGCM のそれは 25 年になる。現在の年最大氾濫量については、70mm 程度までは同じ氾濫量に対して AGCM の方が観測情報よりも再現期間が長くなる。ただし 1 点だけ AGCM の結果では 280mm という極端に大きな氾濫が生じており、これは雨季の終盤である 10 月に 500mm 程度の大きな降雨があったことが主な原因であることを確認している。

将来の6ヶ月雨量においては、ケース毎にばらつきがあるものの、全般的に同じ再現期間に対して将来の降水量が増加傾向にある。また将来の年最大氾濫量についても同様のことが言える。 具体的には、2011年の洪水氾濫における6ヶ月雨量と氾濫量は、それぞれ1400mm、150mm であり、それらの再現期間は、現在から将来へそれぞれ、25年から7~10年、31年から10~11年に短くなる。

1.5.2. 特定脆弱地域での影響評価

1.5.2.1. Socio-economic drought assessment using BTOP model in Pampanga River Basin

In previous study, we introduced an assessment framework of the socio-economic drought that occurs due to water imbalance between anthropogenic water demand and reduced water supply from precipitation, river, and soil moisture water (Mishra and Singh, 2010). In the Pampanga river basin, we estimated irrigation water demand in the Upper Pampanga River Integrated Irrigation System (UPRIIS) and simulated natural river discharges with 0.45-km grid size BTOP model using globally available precipitation data (Gusyev et al., 2014). For the present water supply, existing water infrastructure such as the Pantabangan multi-purpose dam has been reducing the impacts of natural droughts on water scarcity during dry and wet seasons. In future climates, natural droughts may further reduce water inflow into reservoirs while anthropogenic water demand may increase due to population growth, industrial development and agricultural area expansion. Therefore, our socio-economic drought assessment focuses on water inflow (water supply) as well as reservoir water storage in this year's study.

To quantify historical droughts, the Pantabangan Dam was selected as a pilot site to conduct dam operation assessment of the historical water supply and demand (Figure 1.5-9A). The Pantabangan Dam

has reservoir capacity of 2,966 MCM and was constructed in 1976 at the northern part of the Pampanga river basin (PDO, 2013). The Pantabangan Dam is operated by National Irrigation Administration (NIA) and has a primary purpose to supply irrigation water to the UPRIIS, which consists of five NIA districts with total irrigated area of about 150,000 ha and river water diversion structures, see Rizal dam in Figure 1.5-9A. In 2001, Casecnan trans-basin water diversion tunnel was constructed to increase Pantabangan reservoir water inflows (Figure 1.5-9A). In the Pampanga river basin, we utilized available data of JICA (2011) study and conducted second drought field survey to gather additional water supply, water demand and drought damage data. From the second survey, we also investigated past drought mitigation measures that were taken by NIA to reduce drought impacts on farmers during historical droughts.

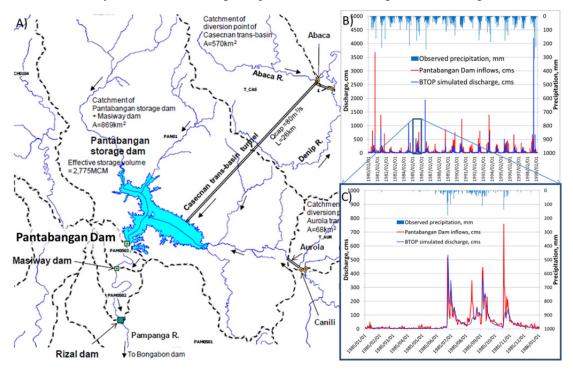


Figure 1.5-9: National Irrigation Administration (NIA) water distribution system in the Pampanga river basin with the Casecnan trans-basin tunnel (A) (modified from JICA (2011)). The observed Pantabangan inflows and BTOP simulated discharges with ground based precipitation at dam site (B) and zoom-in on the one year results of the 1985-1986 period (C).

For the Pantabangan Dam, we obtained a daily historical record of precipitation, reservoir inflow, water level and dam discharge data from 1980 to 2012 (PDO, 2013). These collected data were utilized with the BTOP model, which was previously developed with about 0.45-km grid size (15 arc-second) for the detailed simulations in the Pampanga river basin. The BTOP model, which was developed from globally available data sets, simulated river discharge and dam inflows with local daily ground base precipitation data collected at the Pantabangan Dam Office (PDO, 2013). The BTOP simulated discharges demonstrated a satisfactory match with the observed Pantabangan inflows for the calibration period from 1980 to 1999, see Figure 1.5-9B. An enlarged view on the simulation period between 1985 and 1986 is demonstrated in Figure 1.5-9C. The discrepancy between simulated discharges and observed inflows may be due to the precipitation data measured only at one rain gauge station located at the Pantabangan Dam office. After the model calibration, we conducted the BTOP model simulation from 1980 to 2012 including Casecnan trans-basin tunnel inflows. As a result, we observed the importance of the Casecnan inflows from year 2002 to replenish Pantabangan water storage during wet seasons. From these preliminary results, we concluded that the Pantabangan reservoir has sufficient capacity to meet the UPRIIS irrigation water demand especially during dry seasons. For the climate change impact assessment of the reservoir system, we need to investigate future available water due climatic variability and future anthropogenic water demand in the

1.5.2.2 Development of Agricultural Flood Risk Assessment Model in Pampanga River Basin

In this study, agriculture damage estimation method was developed for flood risk assessment. The flood damage assessment in the Pampanga river basin of the Philippines was conducted by considering three major factors of risk: hazard, exposure and vulnerability. The hazard characteristics were analyzed by Rainfall Runoff Inundation model (Sayama et al. 2012). Agriculture damage refers here as damage occurring to rice-crops. The rice-crops damage curves were originally developed by combining flood damage matrix of BAS (2013) and height of rice crops according to IRRI (2009).

(a) Agricultural damage curves

The flood damage curves for rice-crops were originally developed as a function of flood depth, flood duration and growth stage of the rice crops. Fig. 1.5-10 shows the developed rice-crops flood damage curves.

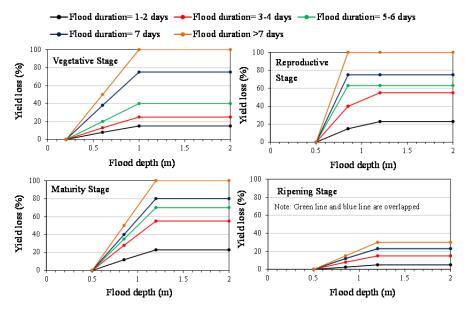


Figure 1.5-10: Developed flood damage curves for rice-crops (Shrestha et al. 2014).

(b) Agricultural damage estimation

Based on developed flood damage curves and flood inundation characteristics, the agricultural damages can be estimated by following equations.

$$Loss Volume = Rice Yield \times Damaged Area \times Yield Loss$$

$$Damage Value = Loss Volume \times Farm Gate price$$
(2)

The values of farm gate price equal to 17 Peso/kg (BAS, 2013) and rice yield equal to 4,360 kg/ha (BPAO, 2011) in case of the Pampanga river basin of the Philippines were used in the calculation. According to cropping calendar published by National Irrigation Administration, Upper Pampanga River Integrated Irrigation Systems (NIA-UPRIIS) in 2013, the stage of rice crops during September 2011 flood period was maturity stage. Thus, the damage curves of maturity stage are used to estimate the production loss of rice crops for September 2011 flood event as well as for certain return period flood events such as 50- and 100-years return periods.

The agricultural flood damage assessment was conducted in the Pampanga river basin of the Philippines for flood events of September 2011, 50- and 100-years return periods (Fig. 1.5-11). The damaged rice field area estimated in the Pampanga river basin during flood events of September 2011, 50- and 100-year return periods are found to be 45,900, 52,800 and 78,100 hectares, respectively, while the values of agricultural damage are 1,461.2, 1,777.8, 2,888.5 million Pesos, respectively. The damaged rice field area is the total area of rice crops damages where flood water depth is greater than 0.5m in case of maturity stage, which can be estimated by using flood damage curves.

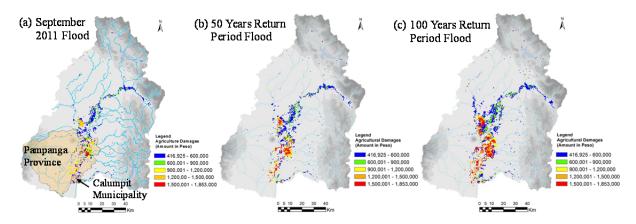


Figure 1.5-11 : Calculated agricultural damages for September 2011 flood, 50 and 100 years return period flood cases ($500 \text{ m} \times 500 \text{ m}$).

1.5.2.3 フィリピンパンパンガ川流域における住家のリスク評価手法に関する現地調査

農村地域の水害常襲地帯において住家の水害リスクを評価する際には、地域住民は、高床式住居に住むなど日頃から水害に適応した暮らしを営んでいるため、現地の実情を正しく理解した上で定量的な評価を行う必要がある。今年度は、農村地域の水害常襲地帯の実情を踏まえた住家の水害リスク評価手法の構築に向けて、フィリピン共和国パンパンガ川流域の洪水常襲地帯を対象として、水害による住家の被害状況と居住生活への影響を把握するための現地調査を行った。

平成 26 年 3 月及び 7 月に、パンパンガ川流域に位置するブラカン州カルンピット市及びパンパンガ州カンダバ市内の洪水常襲地帯において、地域住民を対象とした訪問面接式のアンケート調査を行い、2011 年、2012 年、2013 年の水害での住まいの被害程度や避難行動、生活への支障などの実態を把握した。図 1.5-12 には、パンパンガ川流域内での両市の位置を示した。回答数は、平成 26 年 3 月の調査で 37、平成 26 年 7 月の調査で 61 である。また、現地の自治体へのヒアリング調査も行い、水害時の生活支障に対する公的支援(公助)についても把握した。これらの調査に基づき、①浸水深さと避難率の関係、②浸水深さと家屋及び家財の被害率との関係、③被害程度と公助の関係について分析した。

アンケートの回答は、構造種別及び1階建て・2 階建て・高床式などの階数別に整理し、分析を行った。この結果、①浸水深さと避難率の関係については、2階建てでは床上の浸水深さが50cm以上の場合に特に自宅外への避難が行われたが、1階建てでは50cm 未満でも自宅外への避難が行われて

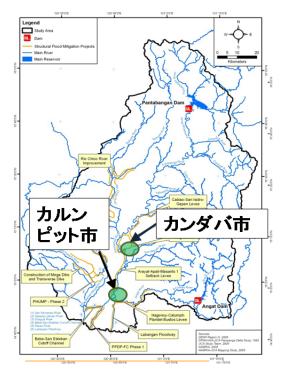
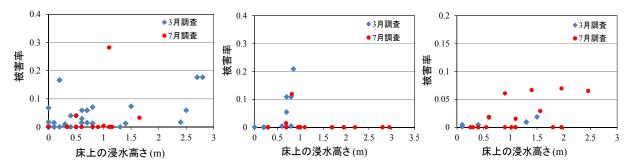


図 1.5-12:対象地域の位置

いた。また、自宅外に避難していない場合でも、屋根の上で水がひくまで生活したり、家財を 1 階から 2 階に移動したりするなど、浸水により日常生活への支障が発生している状況が確認された。②浸水深さと家屋及び家財の被害率との関係については、被害率を「建物及び家財の資産価値に対するこれらの被害額の割合」として定義し、床上での浸水深さとこの被害率との関係を図 1.5-13 の通りに算出した結果、両者には明確な関係は見られなかった。この理由として、住居が水害に適応しており、浸水後も補修等を行わずに継続居住するため損失が少ない、保有する家財が少ない又は浸水前に 2 階等に移動させるため家財被害も少ない、などの状況が確認された。



①1 階建てコンクリート壁住宅 ②2 階建てコンクリート壁住宅 ③高床式コンクリート壁住宅 図 1.5-13:家屋建物及び家財の被害率と床上での浸水深さの関係

1.5.2.4. 広域の洪水被災リスク評価に向けたカンボジア洪水多発地域の家屋様式に関する検討

本研究では、メコン川下流地域の家屋を対象に、広域の洪水被災リスクを評価するために、洪水氾濫や被災状況に関する現地調査を実施し、その結果を踏まえた技術開発に取り組んでいる。

カンボジア洪水多発地域の集落(図 1.5-14:メコン川右岸、カンダル州最北部のムクカンプル郡ロカコンムオイ及びロカコンピー)を対象に、平成 25 年度に実施した家屋と洪水氾濫・被災状況に関する現地調査、及び、平成 26 年度に追加で実施した調査で得られたデータを整理・解析した。その結果、調査地域の主要な家屋様式が高床式であること、家屋床高の下限値は建築面積から推定できること、建築面積は光学衛星画像等の高空間分解能の衛星観測から把握できること等を明らかにした。これらの知見は、衛星観測から多数の家屋と床高の広域分布(曝露度・脆弱性)を把握し、洪水被災リスクを評価するために役立つ。

2013 年 12 月の 12 日間に 400 を超える家屋を訪問し、家屋の素材・構造、築年数、建築費用、建築面積、床高といった特徴量、過去(直近の 2013 年と近年最大規模と言われる 2011 年)の洪水氾濫水深(年最大値)や被災状況(家屋修繕費用)について、聞取り及び計測により調査した。

調査した家屋の約9割は高床式の家屋であり、そのうち約8割は床高2m以上である(図1.5-15)。 床高の度数分布(図1.5-15)によると、地床式の家屋(床高0.3m未満)を除けば、2.3m付近に極大を持ち、最大値は約4.5mである。分布形状は左右非対称であり、分布の裾野の広がりは、床の低い側は狭く、高い側は相対的に広い。2011年と2013年の洪水では、大半の家屋の床は氾濫水面よりも高く、洪水後の家屋修繕費用も殆ど生じていない。

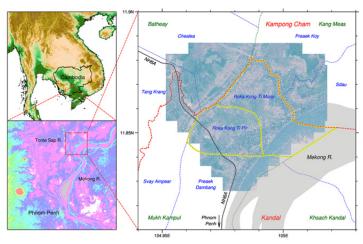


図 1.5-14: 現地調査対象地域 (黄色の実線で囲まれた領域)。

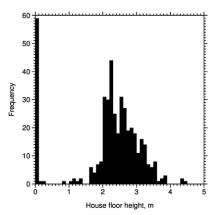


図 1.5-15: 家屋床高の度数分布。 標本数 427。

家屋の床は建築費用が高く、建築面積が広いほど高い傾向にある(図 1.5-16、1.5-17)。但し、住人の考え方や好みにも依るため、建築費用や建築面積との関係では床高にばらつきが認められる(図 1.5-16、1.5-17)。建築費用と建築面積は独立ではなく、費用が高いほど面積も広い傾向にある。建築費用は住民の記憶に基づく数値であり、一程度の不確かさを含むと考えられる。建築

面積と床高は何れも計測値であり、建築面積が広いほど床高の下限値も大きいことが明確である (図 1.5-17 青の点線)。

大半の家屋の輪郭は矩形であり、建築面積の平方根(家屋の水平規模の目安)の最小値(約3.7m)は光学衛星画像の分解能(数十cm)より一桁大きい。従って、衛星画像から多数の家屋の位置と輪郭(建築面積)を把握でき、そして、衛星画像から把握した各家屋の建築面積をもとに最低床高を推定できると考えられる。最低床高とは、家屋の建築面積に対して、少なくともその高さよりも床が高いことを示す数値である。

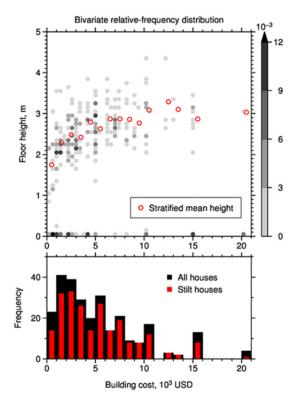


図 1.5-16: 家屋の建築費用(横軸)と床高 (縦軸)の関係(上図)及び費用の度数分 布(下図)。上図、赤丸は費用 1,000 USD (米ドル)刻みで求めた層別平均

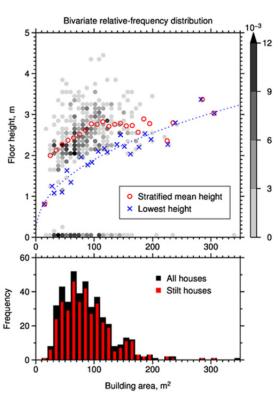


図 1.5-17: 家屋の建築面積(横軸)と床高 (縦軸)の関係(上図)及び面積の度数 分布(下図)。上図、赤丸は面積 10 m²刻 みで求めた層別平均。青の点線は、地床 式家屋を除いて面積 10 m²刻みで床高の 最小値(青のバツ印)を抽出し、べき乗 型の関数形をあてはめた結果

1.5.2.5 現地政府機関との意見交換および現地視察

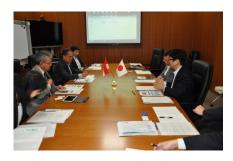
海外の流域を対象として洪水・渇水リスク評価を行うためには、気象・水文データだけでなく、被害データなど多くの種類のデータが必要となる。これらのデータ、特に被害データについては、国外の研究機関に提供をためらう現地政府機関も多いため、その入手には、当該機関との複数回の意見交換を通じて、信頼関係を構築することが必要となる。また、現地に即したリスク評価を行うためには、現地視察を行って現地の地形や社会的状況などを理解することが重要である。このような認識のもと、積極的に現地国を訪問するなどして、政府機関との意見交換や現地視察を実施している。平成 26 年度においては、下記のような意見交換や現地視察を行った。

インドネシアについては、平成 26 年 5 月 20 日に、インドネシア公共事業・住宅省水資源総局 長 Hasan 総局長、Arie 局長、並びに JICA 専門家の守安邦弘氏が ICHARM を来訪し、創生プログラムで実施している渇水推定結果などについて意見交換を行った(図 1.5-18(a))。また、平成 27 年 2 月 7 日から 11 日にかけて、ジャカルタの公共事業・住宅省を訪問して Basuki Hadimuljono 大臣および関係者に面会し、データの提供依頼や研究成果の共有についての意見交 換を行うと

ともに、ソロ川上流部のウォノギリダム付近の視察を実施した(図 1.5-18 (b))。

フィリピンについては、平成 26 年 7 月 7 日から 16 日にかけて、PAGASA(フィリピン大気・地球・宇宙庁)や DPWH(公共事業道路省)、OCD(市民防衛局)、PDRRMO(州災害リスク軽減管理事務所)などを訪問し、それぞれと意見交換を行うとともに、パンパンガ川流域現地を訪問した(図 1.5-18(c))。

タイについては、平成26年12月11日から12日にかけて、RID(王立灌漑局)やTMD(タイ気象局)を訪問し、気象・水文データや被害に関するデータなどに関して意見交換を行った(図 1.5-18(d))。



(a)インドネシア公共事業・住宅省との 意見交換



(c)PAGASA との打ち合わせ



(b) 公共事業・住宅省 Basuki 大臣 との面会



(d)タイ・王立灌漑局との打ち合わせ

図 1.5-18: 現地政府機関との意見交換

f. 考察

(1)流域スケールでの影響評価基本技術に関する考察は、次のとおりである。

フィリピン・パンパンガ川流域:本流域におけるダウンスケーリング実験を用いて、25年間の年最大 24 時間雨量の頻度解析を行った結果、MRI-AGCM3.2S 現在気候は地上雨量計の値と比較して過小評価傾向となった。これらの降水量データを用いて洪水リスクを求めるためには、日降水量別出現頻度などの特徴が地上雨量計と一致するようにデータの修正を行う必要がある。そのようなバイアス補正手法を今後開発し、洪水リスク評価に耐えうる降水量データを作成する予定である。

インドネシア・ソロ川流域:降雨量と流量・氾濫量の関係分析からは、流量約3,000m³/sがCepu地点の河道容量であると推察されるが、氾濫量との関係はより複雑で、特に2009年の実績洪水を対象に観測雨量を入力した結果、特に回帰直線からの乖離が大きくなる結果となった。この原因を明らかにするには降雨の時空間分布を調べる必要があると考えられる。また、最大氾濫量の頻度解析結果について、現時点ではデータの量が十分ではなく定量的な評価は難しいが、最大氾濫量20 mmについてリターンピリオドを見ると、頻度が約2倍となる結果になった。

<u>カンボジア・メコン川流域</u>: 1998 年から 2007 年までのクラティエ観測流量と APHRODITE による雨量を RRI モデルに入力し、対象領域内の流量再現性を確認した結果、ハイドログラフの逓減部はモデルが過小評価傾向であった。 RRI モデルで計算されるピーク時の浸水深の妥当性につ

いては、今後メコン流域委員会(MRC)からも情報を収集しながら検証を進める。これらの検証が終われば、別途BTOPモデルで推定する将来気候に対するクラティエ地点の河川流量をRRIモデルに入力し、気候変動がメコンデルタ地帯における浸水に及ぼす影響を分析する予定である。

<u>チャオプラヤ川流域における 2011 年洪水時の降雨量と氾濫量の統計的評価とその将来変化</u>: チャオプラヤ川流域では、将来に洪水の頻度が増加する。年最大氾濫量については 6 ヶ月雨量の大小で評価するだけでは十分ではないため、直近 1、2 ヶ月間の雨量との関係についても分析する予定である。統計解析については、1 年の区切りでの年最大資料として解析を行ったが、閾値超過資料としての解析も合わせて評価を行う予定である。

(2) 特定脆弱地域での影響評価に関する考察は次のとおりである。

<u>Socio-economic drought assessment using BTOP model</u>: As a result, we observed the importance of the Casecnan inflows from year 2002 to replenish Pantabangan water storage during wet seasons. From these preliminary results, we concluded that the Pantabangan reservoir has sufficient capacity to meet the UPRIIS irrigation water demand especially during dry seasons. For the climate change impact assessment of the reservoir system, we need to investigate future available water due climatic variability and future anthropogenic water demand in the Pampanga river basin.

<u>Development of Agricultural Flood Risk Assessment Model</u>: The results of flood damage provide a basis to identify areas at risk and these results can be useful for planners, developers, policy makers and decision makers to establish policies required for flood damage reduction. The results could also be useful to implement flood mitigation actions including agriculture land use regulation taking into account the risk areas of damages and adaptation measures. The developed methods of agriculture damage can also be applied to other river basins.

パンパンガ川流域における住家のリスク評価手法に関する現地調査:パンパンガ川流域のような農村地域の洪水常襲地帯においては、日本の「治水経済調査マニュアル」に定められているような浸水深さと被害率との関係に基づくリスク評価は困難であることが示唆された。今後は、分析結果を踏まえて、「被害」ではなく、浸水中の居住の可否などの「生活への支障」に着目したリスク評価手法の開発を実施したいと考えている。

広域の洪水被災リスク評価に向けたカンボジア洪水多発地域の家屋様式に関する検討:家屋と洪水氾濫・被災状況に関する現地調査で得られたデータを整理・解析した。今年度の解析結果は、調査地域についての知見であり、他地域にも適用できるか否かについて注意する必要はあるが、現地の資料やデータが充実していないカンボジアにおいて、家屋の洪水被災リスク評価に取り組んでゆく際の手掛かりとなる重要な知見である。

現地政府機関との意見交換および現地視察:今後、関係政府機関と協力して引き続きデータ収集並びに意見交換を実施する予定である。最終年度には、成果普及のためのワークショップ等を 実施する予定である。

g. 引用文献

Bulacan Provincial Agricultural Office (BPAO): Final validation report for cereals, Bulacan Provincial Agricultural Office, Bulacan, the Philippines, 2011.

Bureau of Agricultural Statistics (BAS): Manual on damage assessment and reporting system. Bureau of Agricultural Statistics, Department of Agriculture, Philippines, 2013.

International Rice Research Institute (IRRI): Growth phases of an upland rice plant, IRRI, 2009.

Sayama, T., Ozawa, G., Kawakami, T., Nabesaka, S. and Fukami, K.: Rainfall-Runoff-Inundation analysis of Pakistan flood 2010 at the Kabul river basin, Hydrological Sciences Journal, Vol.57, no.2, pp.298-312, 2012.

佐山敬洋・建部祐也・田中茂信(2013): 大流域を対象にした降雨流出氾濫現象の長期水収支解析, 水 文・水資源学会 2013 年度研究発表会要旨集

Shrestha, B. B., Okazumi, T., Miyamoto, M., and Sawano H.: Development of flood risk assessment method for

- data-poor river basins: a case study in the Pampanga river basin, Philippines, Proceedings of 6th International Conference on Flood Management, 2014.
- Gusyev M., Lee S., Okazumi T., and J. Magome (2014). Socio-economic drought characterization using hydrologic model with water infrastructure in the Pampanga River basin, the Philippines. Abstract HS10-A019, Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual Meeting 2014, Sapporo, July 28 August 1st, Japan.
- Japan International Cooperation Agency (JICA) (2011). The study on integrated water resources management for poverty alleviation and economic development in the Pampanga River basin. Final Report for the National Water Resources Board, the Republic of the Philippines, Japan.
- Mishra A.K and V.P. Singh (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology* 391: 202-216. doi:10.1016/j.hydrol.2010.07.012
- Pantabangan Dam Office (PDO) (2013) Pantabangan hydrological data. Dam and Reservoir Division, Upper Pampanga River Integrated Irrigation Systems (UPRIIS), National Irrigation Administration (NIA). Personal Communication.
- Shukla S. and A.W. Wood (2008). Use of standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical Research Letters* 35, L02405.

h. 成果の発表

論文

- 1. 工藤俊,佐山敬洋,長谷川聡,岩見洋一:インドネシア・ソロ川流域における洪水流量及び氾濫量に着目した気候変動影響評価,土木学会論文集 B1 (水工学),(印刷中)
- 2. Shrestha, B. B., Okazumi, T., Miyamoto, M., Nabesaka, S., Tanaka, S. and Sugiura, A.: Fundamental analysis for flood risk management in the selected river basins in Southeast Asia, Journal of Disaster Research, Vol. 9, No. 5, pp.858-869, 2014.
- 3. Shrestha, B. B., Okazumi, T., Mamoru, M. and Sawano, H.: Development of flood risk assessment method for data-poor river basins: a case study in the Pampanga river basin, Philippines, Proceedings of the 6th International Conference on Flood Management (ICFM6), 2014.
- 4. Takahiro Sayama, Yusuke Yamazaki, Yuya Tatebe, Akira Hasegawa and Yoichi Iwami: Assessment of climate change impact on large scale flooding a case study in the Chao Phraya River Basin via new modeling technology, THA2015 International Conference on "Climate Change and Water & Environment Management in Monsoon Asia", 28-30 January 2015, Bangkok, Thailand, 2015.
- Okazumi, T., Miyamoto, M., Shrestha, B. B. and Gusyev M. 2014: Uncertainty estimation during the process of flood risk assessment in developing countries? case study in the Pampanga river basin -, Journal of Disaster Research, Vol. 9, No. 1, pp.69-77

口頭発表

- 1. 牛山朋來, 宮本守, 長谷川聡, 上野山智也, 岩見洋一, フィリピン・パンパンガ川流域を対象とした力学的ダウンスケーリング, 日本気象学会春季大会, 2014年5月21日, 横浜
- 2. T. Ushiyama, M. Miyamoto, S. Hasegawa, T. Uenoyama, and Y. Iwami, Dynamic downscaling of rainfall in the Pampanga basin, Philippines, for flood risk study, AOGS2014, 1 Aug 2014, Sapporo.
- 3. 工藤俊,佐山敬洋,長谷川聡,山崎祐介,岩見洋一:インドネシア・ソロ川流域を対象とした洪水氾濫の気候変動影響評価,水文・水資源学会 2014 年度研究発表会要旨集,pp.260-261,2014.9
- 4. 佐山敬洋: タイ・チャオプラヤ川を対象にした大規模洪水氾濫現象の気候変動影響評価, RECCA-S8-創生 D 研究交流会, 2014 年 9 月 5 日
- 5. Yamazaki Y., Sayama T., Tatebe Y. and Iwami Y., 2014: Impact of climate change on the probability of large-scale floods in the Chao Phraya River Basin, AOGS 2014 Annual Meeting
- 6. 山崎祐介, 佐山敬洋, 建部祐哉, 岩見洋一, 2014: チャオプラヤ川流域における将来の降水量と 洪水氾濫予測, 水文・水資源学会 2014 年度研究発表会

- 7. 佐山敬洋, 山崎祐介, 建部祐哉, 岩見洋一, 2014: タイ・チャオプラヤ川を対象にした大規模洪水 氾濫現象の気候変動影響評価, RECCA-S8-創生 D 研究交流会
- 8. Shrestha, B. B., Okazumi, T., Mamoru, M. and Sawano, H.: Development of flood risk assessment method for data-poor river basins: a case study in the Pampanga river basin, Philippines, 6th International Conference on Flood Management (ICFM6), 16-18 September 2014, Sao Paulo, Brazil, 2014.
- 9. Shrestha, B. B., Sawano, H., Ohara, M. and Nagumo N.: Agricultural flood risk assessment in the Pampanga river basin of the Philippines, the Tokyo Conference on International Study for Disaster Risk Reduction and Resilience, 14-16 January 2015, Tokyo, Japan, 2015.

アウトリーチ

- 1. 上野山智也・岩見洋一・岡積敏雄・安田成夫: アジアにおける水災害リスク評価と適応策の研究, ~「気候変動リスク情報創生プログラム」における ICHARM の取組み~, 土木技術資料 Vol.69, pp14-17,平成 26 年 6 月
- 2. 徳永良雄: アジアの水災害リスクの評価, 第 12 回環境研究シンポジウム, 気候変動と科学技術 考えよう地球の未来! ~, 2014.11
- 3. 澤野久弥: Imperative Needs to Develop Water-related Disaster Risk Information / Side Event of 6th Asian Ministerial Conference on Disaster Risk Reduction / 23th June 2014 (Bangkok, Thailand)
- 4. 澤野久弥: Imperative Needs to Develop Water-related Disaster Risk Indicators / World Bank Public Seminar / 1st October 2014 (Tokyo, Japan)
- 5. 澤野久弥: Necessity of developing water related disaster risk information for IWRM / The Workshop on "River Basin Management using Science and Technology" / 24th November 2014 (Nay Pyi Taw, Myanmar)