

## 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：安田 成夫

(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) 安田成夫・岩見洋一・岡積敏雄・上野山智也・鍋坂誠志・栗林大輔・佐山敬洋・Shrestha Badri Bhakta・工藤 俊・萬矢敦啓・宮本 守・牛山朋來・長谷川聡・郭 榮珠・E.D.P Perera・杉浦 愛・本永良樹・上米良秀行・Maksym Gusyev・李 商恩・山崎祐介・萩原葉子・南雲直子・竹内邦良  
(山梨大学 大学院医学工学総合研究部) 馬籠 純

### a. 要約

平成 25 年度は、インドネシア・ソロ川やフィリピン・パンパンガ川流域において領域気象モデル (WRF) を用いて降水のダウンスケールを行い精度の検証を行った。パンパンガ川流域において降雨流出氾濫解析モデルを構築し、既往洪水の流量及び浸水域の再現性を検証した。再現結果をもとに、被害曲線を用いて被害額を試算し、実際の被害額と比較し、その精度を検証した。また、同流域において、BTOP モデルを用いて流出の予測シミュレーションを行い、1998 年の渇水時の状況の再現性について確認した。併せて、この地域の主たる農産物である米生産のための灌漑水需要から全体需要を算定し、渇水時の実際の水需要の比較により、手法の精度を検証した。ソロ川流域においても、長期的な計算をするにあたって初期値としてのモデル土壌水分量の状態を適切に再現する手法を検討した。タイ・チャオプラヤ川流域においては、GCM によるアンサンブル予測降雨量を用い、降雨流出氾濫モデルから将来の洪水氾濫生起確率の変化を分析した。

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し、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-AGCM3.2S 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、複数の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・渇水リスク評価モデルを完成させ、将来気候の下での洪水・渇水リスク変化予測マップを試作する。

##### 【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 25 年度研究計画

平成 25 年度は、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)、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 25 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ソロ川およびパンパンガ流域について、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ものである。

昨年度は MIROC5(1.4 度間隔)の出力を用いて試験計算を行ったが、今年度は MRI-AGCM3.2S(20 km 間隔)の出力が入手可能になったため、このデータを主に用いて計算を進めた。領域モデルは WRF を用いた。なお、力学的ダウンスケーリングに用いる 3 次元 6 時間毎の出力データとしては提供されている中で最高解像度の 1.25° 間隔のデータを用いた。

#### (1) フィリピン・パンパンガ流域でのダウンスケーリング

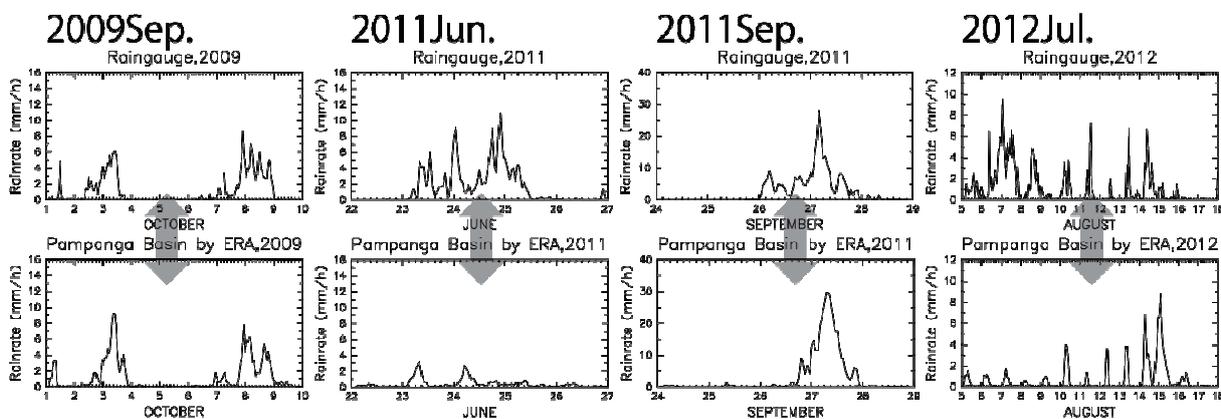


図 1.5-1： パンパンガ川流域の最近の 4 洪水事例を対象とした ERA-interim 再解析データのダウンスケーリング実験。上段は地上雨量計，下段はダウンスケーリングしたパンパンガ流域平均雨量の時系列である。

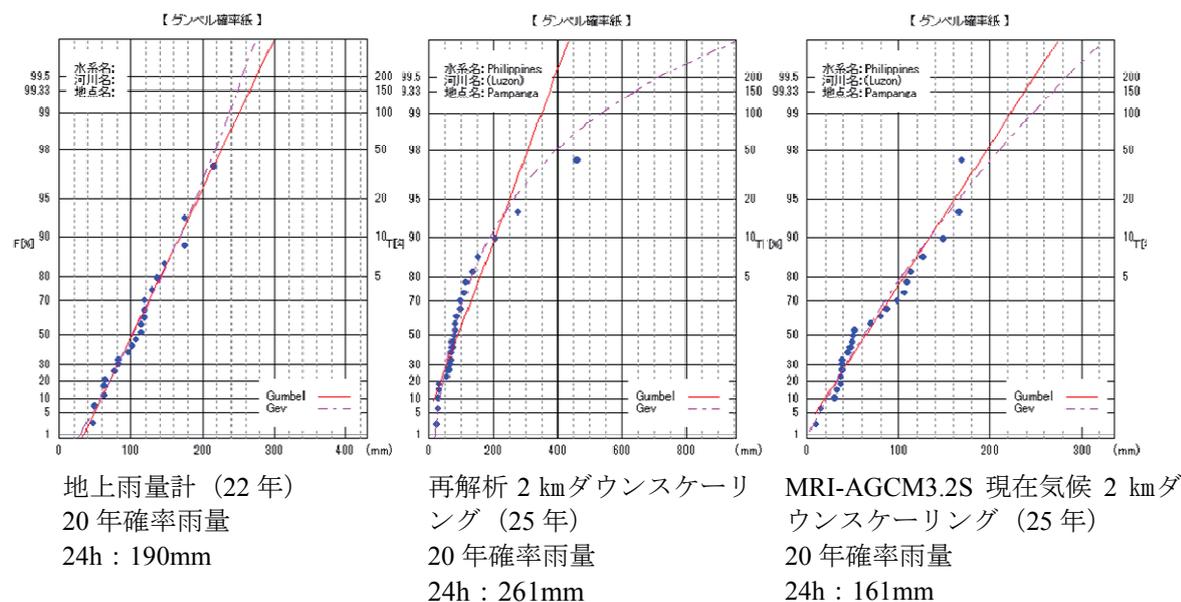


図 1.5-2： パンパンガ川流域の年最大 24 時間雨量の確率分布 (左)地上雨量計、(中)再解析 ERA-interim のダウンスケーリング、(右)MRI-AGCM3.2S 現在気候のダウンスケーリング

フィリピン・パンパンガ川流域で水平解像度 10km と 2km へのダウンスケーリング実験を行った。最初に、ダウンスケーリング計算の検証を行うため、この流域で発生した最近の 4 つの洪水事例を対象として、NCEP Final Analysis (米国)、NCEP reanalysis II (米国)、JRA-25 (日本)、ERA-interim (欧州) の再解析データをダウンスケーリングし、地上雨量計による観測データと比較した。その結果、ERA-interim の場合が最も再現精度が良かった。また、図 1.5-1 の 2009 年 9 月や 2011 年 9 月のように、観測結果をほぼ忠実に再現できる場合もあれば、2011 年 6 月のように大きく過小評価する場合もあった。これらの原因として、台風性の雨は再現精度が良いのに対し、モンスーン性の雨は今回のような高解像度領域モデルにとって再現が不得意であったためと考えられる。

次に、1979 年～2003 年の 25 年間を対象として、年最大 24 時間降水量を求め、水文統計解析により確率分布を求めた(図 1.5-2)。2 km メッシュまでのダウンスケーリング計算を 25 年間行うには計算機資源が不十分なため、年最大雨量をもたらす降雨イベントをあらかじめ抽出し、そのイベントを含む 1 週間を対象にダウンスケーリングを行った。なお、図 1.5-2(左)の地上雨量計による計算は、1980～2013 年までの計 22 年間である。

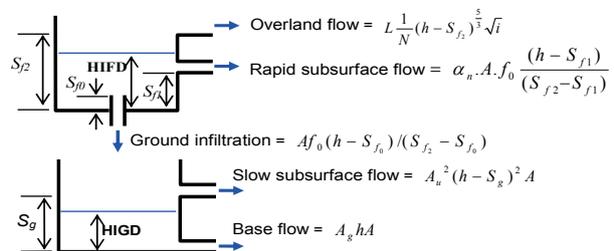
まず、図 1.5-2(中)の再解析の結果は、大きな雨量をもたらした 2 つのイベントが確率分布に影響して出現確率の小さい雨量を増大させ、20 年確率雨量も 261mm と地上雨量計に比べて大きなものになった。これに対して、図 1.5-2(右)の現在気候実験の確率分布は地上雨量計の結果と近いものであり、20 年確率雨量も 161mm であった。再解析および現在気候のダウンスケーリングの結果は出現確率が大きい雨が少なめに出る傾向があった。これは、高解像度領域モデルがモンスーン性の雨をうまく再現できないことによるものと考えられる。一方、再解析の上位 2 つのイベントを除いて統計解析を行うと、確率分布は地上雨量計の結果に近くなり、20 年確率雨量も 181mm となった。

### 1.5.1.2. 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 (インドネシア・ソロ川)

#### (1) 適用したモデルの概要

##### ① 2 段タンク分布型流出解析モデル

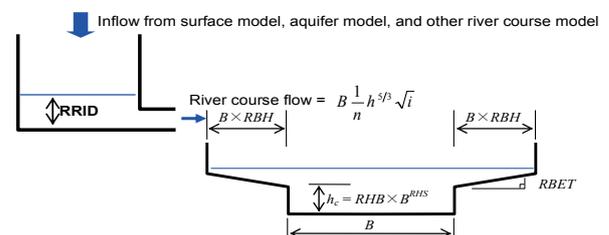
流出解析モデルに、土木研究所で開発された土研分布モデル ver.2 を用いた (図 1.5-3 参照)。当該モデルは、タンク型のパラメータ分布型流出解析モデルである。



##### ② モデル構築に用いたデータ等

モデル構築には、国土地理院が発行する標高データの GlobalMap(Elevation) を用いてモデルを構築し、土地利用データ Globalmap(Landcover) 等を用いてパラメータ設定を行った。

【River course tank】



#### (2) 帯水層タンク初期水位の影響

##### ① 日雨量データを用いた長期流出計算結果 (解析期間：2002/1/1～2009/12/31)

モデルの特性を把握するため、構築したソロ川モデルの帯水層タンクの水位について、流域全体を一様に 2.0m (高湿潤状態)、1.0m (湿潤状態)、0m (乾燥状態) の 3 ケースを設定して流出解析を行い、ハイドログラフを描いて結果を比較した (図 1.5-4 参照。Jurug 地点：流域面積 3,580km<sup>2</sup>)。当初の 3 ヶ年は、解析結果に顕著な差があり、時間の経過とともにその差が小さくなっていくことが分かる。

図 1.5-3：土研分布モデル ver.2.0 タンク構造図

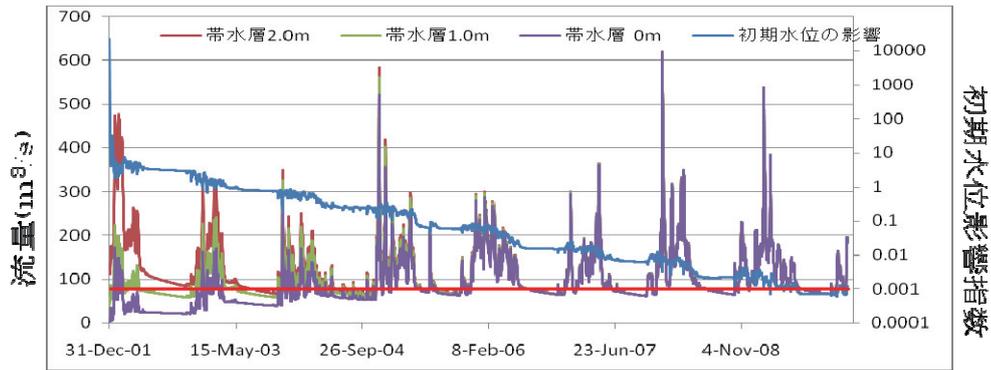


図 1.5-4: 高湿潤状態(WL:2.0m), 湿潤状態(WL:1.0m), 乾燥状態(WL:0.0m)解析結果比較(Jurug 地点)

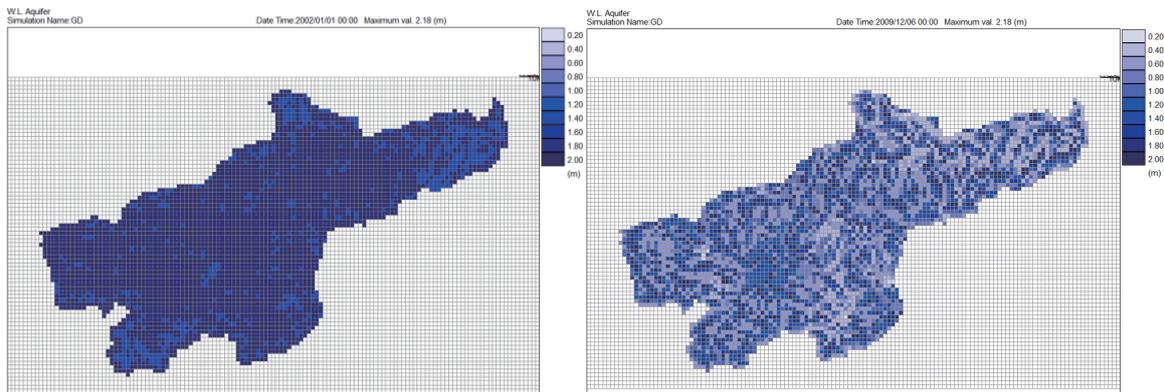


図 1.5-5: 高湿潤状態(WL:2.0m)の計算開始日(左図:A)と7年11ヶ月後(右図:B)の帯水層タンク水位

このときの帯水層タンク水位を仮想的に土壌水分量を表現する状態変数とする。図 1.5-5 に計算開始日(A)と7年11ヶ月経過時点(B)の帯水層タンク水位を示す。Aが流域ほぼ一様に高湿潤状態であるのに対して、Bは河川周辺に水が集まった結果、水の空間分布が河川周辺に集まっていることが分かる。現地の地下水分布のデータを入手できていないため検証はできていないものの、モデル上、定常的な地下水の水分分布を仮想的に再現した結果である。

## ② 初期水位の影響

地下タンクの初期水位を満水にして高湿潤状態を再現し、この状態から降雨流出解析を行って算出した流量を  $Q_s$  とする。一方、地下タンクの水位を0に設定し、この状態から降雨流出解析を行って算出した流量を  $Q_d$  とする。時間経過とともに  $Q_s$  と  $Q_d$  双方の流出解析結果の差が無くなっていくことが分かる。 $Q_s$  と  $Q_d$  の差を  $Q_d$  で除した値を初期水位の影響指数とする。この指数が0.001、つまり解析結果の差が0.1%以内であれば、初期水位の差が解析結果に与える影響がなくなるものとした。この指数が0.001を下回る期間を明確にすることによって適切な流出解析を行うための仮想的な土壌水分量初期状態を再現できると考えられる。

$$0.1(\%) < \left( \frac{Q_s - Q_d}{Q_d} \right) \times 100$$

### 1.5.1.3. 降雨-流出-氾濫解析モデルによるパンパンガ川流域の洪水ハザードの推定

フィリピンにおいて最も洪水に脆弱な流域の1つであるパンパンガ川流域を対象に降雨流出氾濫解析モデルである RRI(Rainfall-Runoff-Inundation)モデルを適用し既往の洪水の浸水域を推定した。

#### (1) 対象洪水

2011年9月に発生した台風17号(NESAT)による洪水を対象として氾濫解析を行った。対象とした洪水は図1.5-6が示すように降雨量(48時間雨量)、流量(Arayat地点)ともにこれまでの記録で既往最大の洪水イベントである。

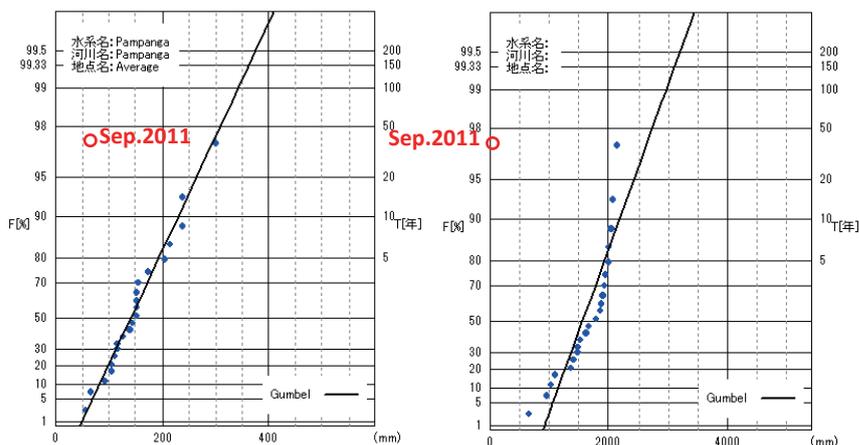


図 1.5-6 : パンパンガ川流域における年最大 48 時間雨量(左)と日平均流量(右)の頻度解析結果

#### (2) 降雨-流出-氾濫解析モデルによる解析結果

ICHARM らが開発した洪水流出解析モデル IFAS(Integrated Flood Analysis System)と RRI モデルをパンパンガ川流域に適用し洪水流量の再現性を検証した。図 1.5-7 はパンパンガ川流域の水文観測地点である。図 1.5-8 は San Isidro 地点と Mayapyap 地点における流量の実測値と IFAS および RRI の解析結果である。対象とした洪水ではパンパンガ川流域の San Isidro 地点より上流で氾濫が起きたため、河道内の洪水流出のみを解析する IFAS では実測値のピークを過大評価しているが降雨流出および氾濫を一体で解析する RRI モデルではハイドログラフ全体を概ね再現することができた(図 1.5-8 上)。ただし、氾濫の発生より上流の Mayapyap 地点では IFAS がピーク流量を精度よく再現できている(図 1.5-8 下)。次に RRI モデルによる氾濫エリアを図 1.5-9 に示す。パンパンガ川流域には図 1.5-9 に示したようにカンダバスワンプとサンアントニオスワンプの2つの広大な湿地帯があり、洪水時には遊水機能を発揮し下流流量を低減している。RRI モデルによる結果においても湿地帯が湛水していることが示された。

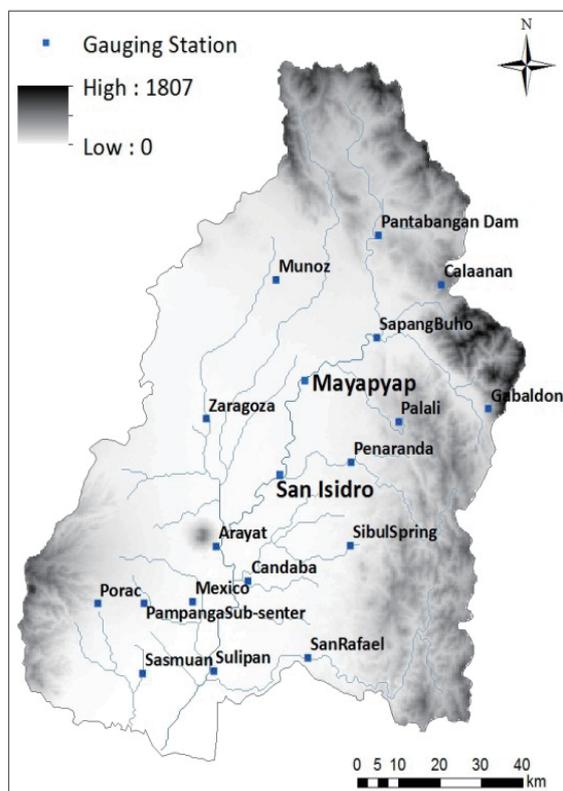


図 1.5-7 : パンパンガ川流域の水文観測地点

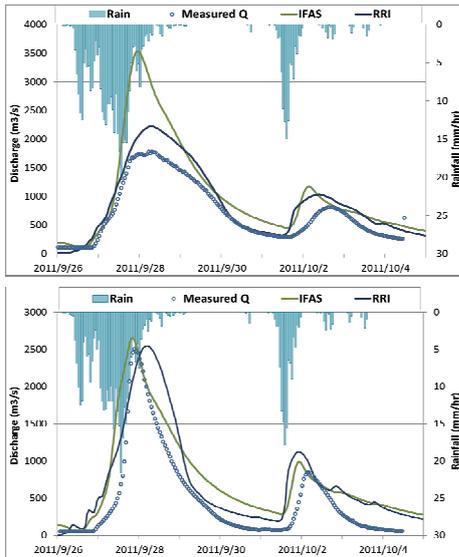


図 1.5-8 : San Isidro 地点(上)と Mayapyap 地点(下)におけるハイドログラフ

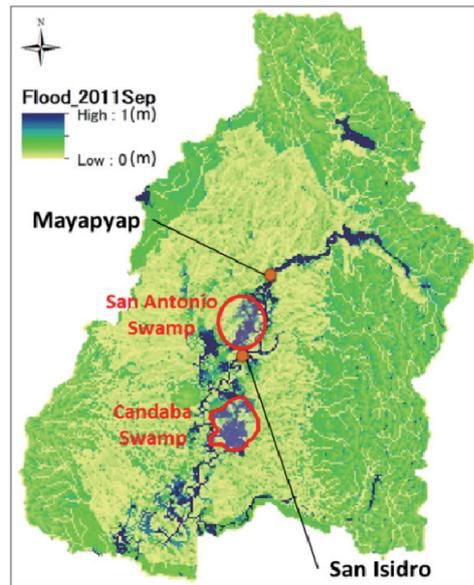


図 1.5-9 : RRI モデルによる氾濫解析結果

### (3) 気候変動の水害ハザードに対する影響評価に向けて

これまで地上雨量計のデータを用いて氾濫解析を行ったが、今後は GCM 実験データの力学的ダウンスケーリングした結果を雨量データとして適用し、気候変動の将来影響評価を行う予定である。現状では再解析データをダウンスケーリングした結果を RRI モデルに適用し地上雨量を用いた結果との比較検証を行っている。

#### 1.5.1.4. 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

GCM によるアンサンブル予測降水量を降雨流出氾濫モデル (RRI) に入力し、2011 年タイ洪水に匹敵する規模の洪水氾濫生起確率が、現在 (1979 - 2003) から将来 (2075 - 2099) に渡ってどのように変化するかを分析した。

##### (1) チャオプラヤ川流域における将来の降水量の変動

本研究で用いるアンサンブル予測降水量は、気象庁 AGCM3.2S の 1 ケース、AGCM3.2H の 12 ケース(3 種の積雲対流スキーム : Arakawa-Schubert、Kain-Fritsch、Yoshimura と 4 種の海面水温の組み合わせ)計 13 ケースとした。現在気候は、海面水温のアンサンブルがないため計 4 ケースとなる。以下の分析では、現在気候と将来気候に分けて、アンサンブル平均を中心に議論する。

まずチャオプラヤ川流域の年平均降水量とその標準偏差を調べた結果、現在から将来に向けて、それぞれ 1162mm から 1269mm、181mm から 223mm 増加した。また年最大日降水量も同様に 50mm から 60mm、14mm から 19mm に増加していた。

次に、チャオプラヤ川の下流氾濫に影響を及ぼす 6 ヶ月の降水量に着目すると、平均が 994mm から 1078mm に、標準偏差が 195mm から 238mm に増加していた。これらの 6 か月降水量を Gumbel 分布に当てはめて求めた 10、20、50、100 年の再現期間を表 1.5-1 に示す。

表 1.5-1: 6 ヶ月降水量の再現期間

項目	6ヶ月降水量(mm)			
	Gumbel分布			
再現期間	10年	20年	50年	100年
現在 P	1254	1367	1512	1621
将来 F	1401	1540	1721	1856
Fの再現期間	5年	9年	18年	31年

2011 年の大規模洪水では、6 か月降水量が約 1400 mm であったと報告されており、本研究で用いた GCM の結果に基づけば、現在気候で 24 年の再現期間に匹敵する。これが将来気候になると 1400 mm の雨は約 10 年に一回の頻度で生じることになり、2011 年規模の洪水頻度が増えることが GCM 出力から推定される。ただし観測雨量に基づく 2011 年洪水の再現期間は 50 年から 100

年と言われており、バイアス補正を施した現在気候でも 6 か月降水量が過大評価傾向であることに注意が必要である。

## (2) 将来の洪水氾濫

次に各アンサンブルメンバーの予測降水量を RRI モデルに入力して流域スケールの流出氾濫計算を実行し、年最大の氾濫量（氾濫量を流域面積で除した水高換算値）のピーク値を推定した。推定された毎年の氾濫量に指数分布を適用して頻度解析を行った結果、表 1.5-2 に示す全ての再現期間で、年最大氾濫量が約 3 割増加していた。なお観測雨量を用いて推定した 2011 年の氾濫量は、約 150mm であり、現在気候と将来気候に対する再現期間はそれぞれ 29 年と 12 年となった。また図 1.5-11 に示すように、25 年間における 50 cm 以上の浸水回数を空間分布で示すと、バンコク北西部において浸水頻度が約 2 割増加することが推定された。

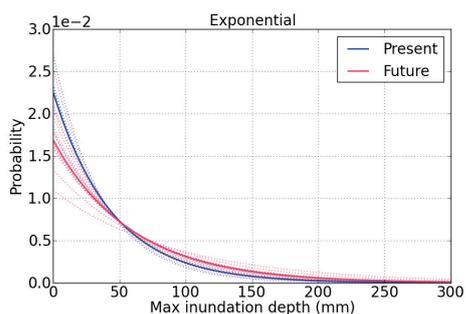


図 1.5-10：氾濫の頻度分布変化と数値  
(破線はアンサンブルメンバー、実線はアンサンブル平均)

表 1.5-2：年最大氾濫量の再現期間

項目	年最大氾濫量(mm)			
	指数分布			
再現期間	10年	20年	50年	100年
現在 P	102	133	173	204
将来 F	136	177	232	273
Fの再現期間	6年	10年	19年	32年

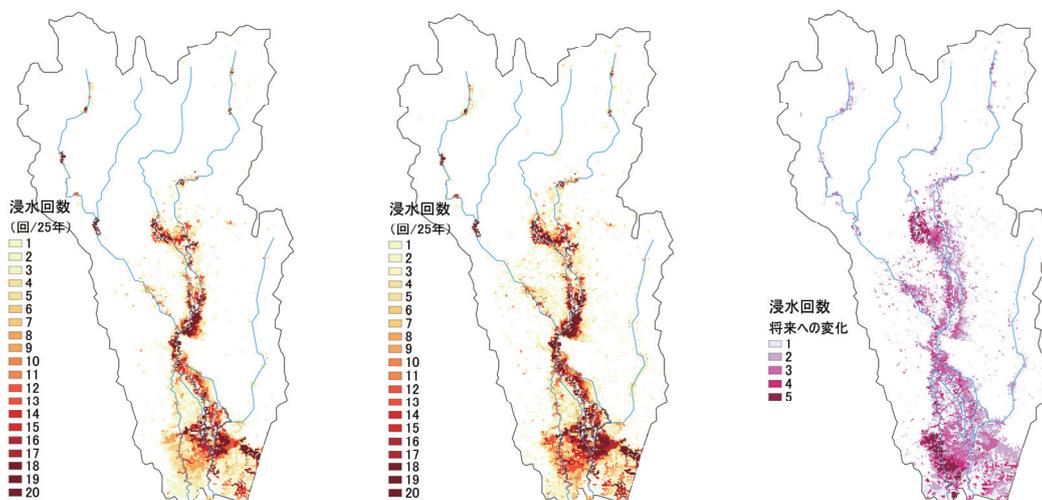


図 1.5-11：25 年間における浸水回数（左：現在，中：将来，右：将来－現在）

### 1.5.1.5 Flood Risk Assessment Model

#### (1) Outline

The hazard assessment has been done by using hydrological and hydraulic model and flood-prone areas are identified. By considering major exposure in the flood-prone areas and damage function based on flood characteristics, we can estimate flood damages for risk assessment. The agricultural damage estimation for flood risk assessment in the Pampanga river basin of the Philippines has been presented as a case study. For flood damage estimation, the Rainfall Runoff Inundation (RRI) model developed by Sayama et al. (2012) was used to calculate the flood depth and duration. The flood depth and duration were calculated at 500 m x 500 m grid size using Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) data.

(2) Agricultural damage function

Rice crops are major agricultural production in the Pampanga river basin. Thus, agricultural damages are represented by rice crops. The rice crops damage function given by BAS (2013) as shows in Fig.1.5-12 were used to estimate a preliminary results of rice crop damages in the Pampanga river basin.

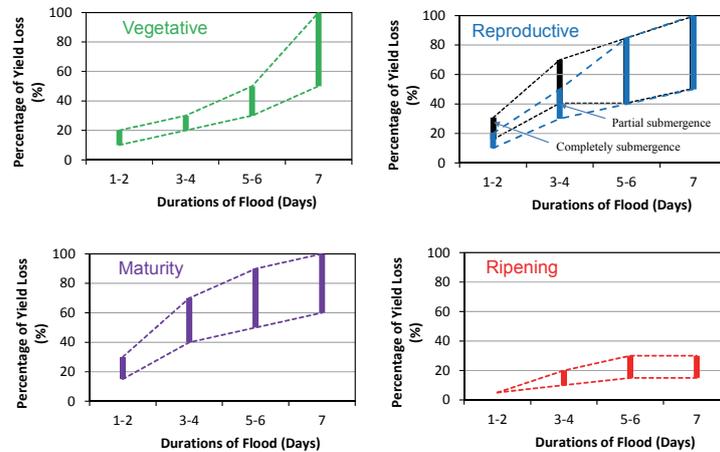


Figure 1.5-12: Rice crop damage functions for different stages of crops (BAS, 2013).

(3) Results and discussion

In Pampanga river basin, there was a severe rice crops damages during typhoon “Pedring” in 2011. Provisionally, it was considered to estimate rice crop damages in 2011 flood event. Fig.1.5-13 shows the estimated damage function using maximum, minimum and average values of damages function (Okazumi et al., 2014).

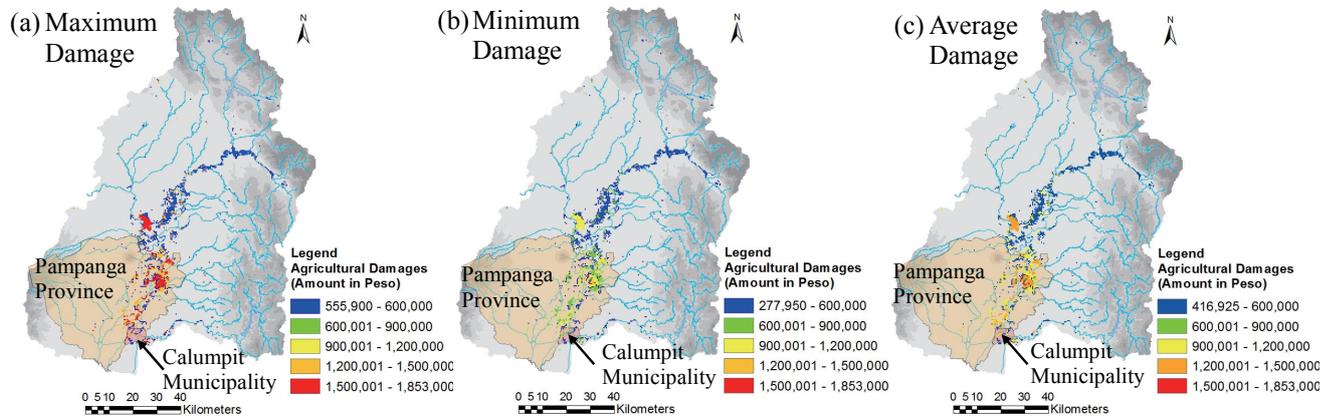


Figure 1.5-13: Estimated rice crops damages using (a) maximum values, (b) minimum values and (c) average values of damage function.

Table 1.5-3 compares the estimated rice crops damages in the Pampanga Province and the Calumpit Municipality. In Calumpit Municipality case, the calculated value of rice crop damages is approximately same as statistical damage value. However, in case of Pampanga Province, the statistical value of rice damages also includes rice crop damages due to strong wind in the areas. So there is significant difference between calculated and statistical values of rice crop damages in the

Table 1.5-3: Comparison of calculated and statistical damages

Descriptions	Rice crops damages (million Peso)			
	Statistical	Using maximum values	Using minimum values	Using average values
Pampanga Province (Affected area 15,900ha)	1,376	777	443	609
Calumpit Municipality (Affected area 1,250ha)	37	54	30	42

Pampanga Province. Further discussion must be necessary for calibration of flood risk assessment model under limited information.

### 1.5.1.6 Drought Risk Assessment

#### (1) Distributed hydrological BTOP model as water supply side for drought assessment

In our drought risk assessment methodology, water supply side was obtained with distributed hydrological BTOP model in the study river basins. The BTOP model was constructed on the 15 arc-second spatial resolution (approximately 450 m) using simple upscaling algorithm that preserves original 90 m resolution of HydroSHEDS river length, elevation and riverbed slope with (Masutani and Magome, 2008, 2013). In the Pampanga river basin, the BTOP model was subdivided into nine blocks based on locations of river gauging stations, (see Fig.1.5-14). The daily river discharge was simulated with BTOP for 57 years (1951-2007) with the ground-based precipitation dataset APHRODITE Monsoon Asia version V1003R1 (Yatagai *et al.* 2012). For the Pampanga river basin, seven observation stations were used to calibrate natural river discharge and the dam inflows, after construction of the Angat Dam in 1969 and the Pantabangan Dam in 1979. The simulated BTOP daily discharge was in good agreement with observed river discharges during dry seasons.

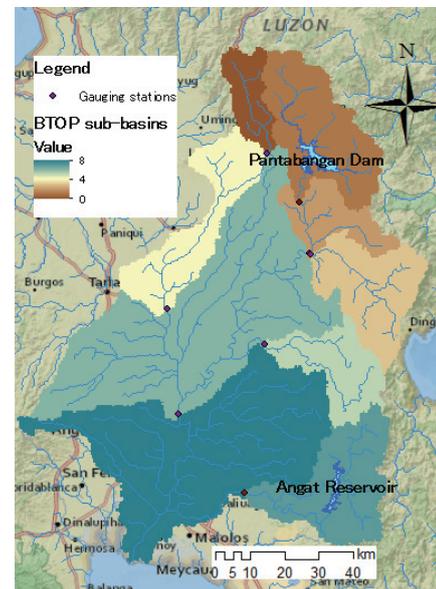


Figure 1.5-14: BTOP model with 0.5

#### (2) Estimation of Irrigation Water Demand with a Simplified FAO module

In the water demand side, we focused on irrigation water demand, because major freshwater users in the Pampanga river basin are due to agricultural activities. In particular, we decided to generate the long-term time-series of irrigation water demand in paddy fields of the National Irrigation Administration's Upper Pampanga River Integrated Irrigation Systems (UPRIIS). We considered three criteria in selecting methods for irrigation water demand, including: (i) data availability (methods should be sufficiently met by locally available data); (ii) generalization (methods should be applied to other river basins in the different countries); (iii) reliability (methods should be those proved to show reliable estimates). Based on above criteria, we finally decided to adjust methods in FAO's irrigation manual module #4 (Savva and Frenken, 2002) to local data availability.

Our irrigation water demand procedure is illustrated in Figure 1.5-15. First, the cropping calendar was established for a basis for the time-series of irrigation water demand over an average year. Based on data of the Bureau of Agricultural Statistics

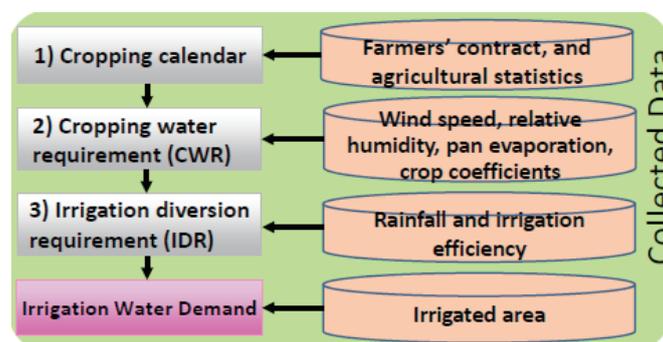


Figure 1.5-15: Irrigation Water Demand for Rice

(BAS), two cropping seasons for rice (regular dry season from Dec. to April and regular wet season from June to Oct.) were respectively divided into periods for five growth stages of rice. Second, the crop water requirement (CWR), i.e., the water amount for the maximum yield of the crop, was estimated. Here the value of  $K_c$  was estimated over the developed cropping calendar by using data in FAO (1998). Local data about meteorological observations were insufficient to use FAO's Penman-Monteith equation to estimate the evapotranspiration (ET<sub>o</sub>). Third, we converted the obtained time-series of CWR into those of the

irrigation division requirement (IDR), using data of JICA (1982; 1992) about effective rainfall, and irrigation system efficiency. Fourth, monthly irrigation water demand was estimated for the period from Jan. 1991 to Dec. 1999 by multiplying two monthly time-series, i.e. IDR and irrigated area.

## 1.5.2. 特定脆弱地域での影響評価

### 1.5.2.1. パンパンガ川流域の洪水脆弱性に関する現地調査

パンパンガ川流域における洪水・渇水脆弱性と現行の被害算定手法の実態把握を目的として2013年7月に現地調査を行った。パンパンガ川流域は流域内人口が多い上、重要な穀倉地帯であることから、被害算定に関しては人的被害と農業被害の観点から行った。

#### (1) パンパンガ川流域における洪水被害

パンパンガ川流域では、台風の上陸頻度が非常に高いことからほぼ毎年洪水氾濫が発生している。図 1.5-16 が示す 2004 年の洪水で浸水したエリアから流域の低平地の大部分が浸水していることがわかる。

#### (2) 湿地帯による遊水機能

パンパンガ川流域にはカンダバスワンプとサンアントニオスワンプの2つの広大な湿地帯があり、洪水時にはこれらの湿地帯が浸水することで流域全体としての遊水機能を果たしている。特にカンダバスワンプでは、河川堤防の一部を低くすることで高水を湿地帯に流入させ河川流量のピークカットを行っている(図 1.5-17)。湿地帯内には多くの人が居住しているが、図 1.5-18 が示すように、カンダバスワンプでは多くの家屋が嵩上げされ浸水に備えている。さらには浸水時には一部で漁業も営まれており、住民は洪水と共存しているといえる。したがって、浸水被害を算定にあたっては湿地帯の内外で異なる手法を適用する必要がある。

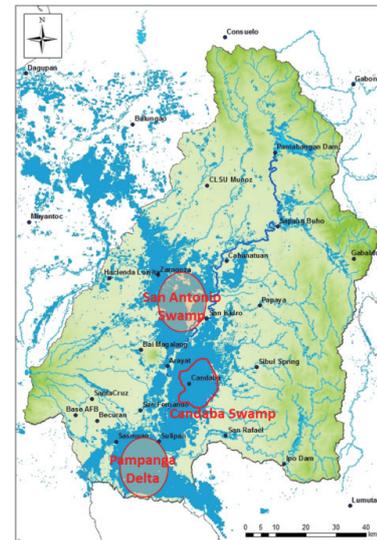


図 1.5-16 : 2004 年に発生した洪水のパンパンガ川流域の浸水



図 1.5-17 : パンパンガ川からカンダバスワンプへの流入



図 1.5-18 : カンダバスワンプ内の嵩上げされた住居

#### (3) 河道の流下能力に関する既存データの精査

パンパンガ川流域では雨量観測所が 18 地点設置されており、そのうち 11 地点は水位も観測されている。流量観測はこれまでに数地点で行われているが、洪水時のデータは少なく、H-Q 曲線の作成に十分とは言えない。その中でも比較的データが多い Arayat 地点を中心に本調査では本川の河道流下能力を確認した。図 1.5-19 現地調査において河道幅から目視で推定した河道流下能力である。また図 1.5-20 は Arayat 地点における H-Q 曲線を現地調査後に見直した結果である。現地調査の結果から、これまでの H-Q 曲線では洪水時に流下能力を過大評価していたと考えられるため、河道幅から推定される流量と整合性がとれる程度に修正した。

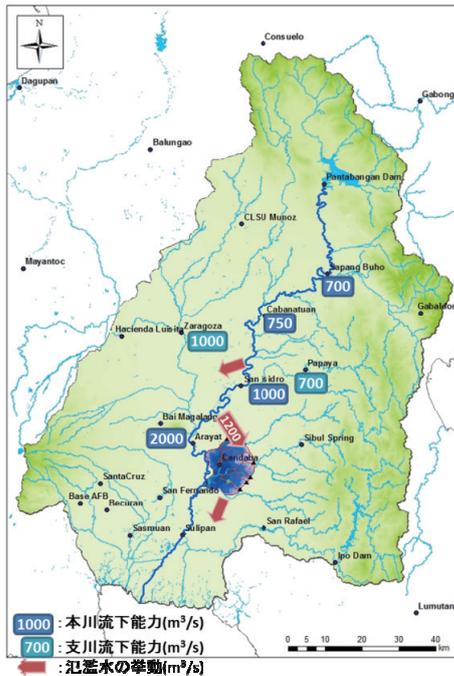


図 1.5-19: パンパンガ川の流下能力

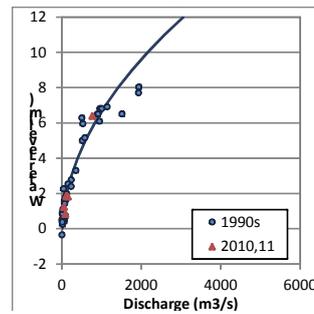
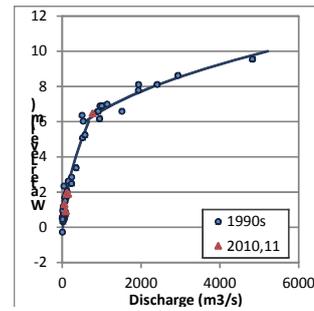


図 1.5-20: 現地踏査後の H-Q 曲線の見直し

### 1.5.2.2 Household Survey in Pampanga River Basin

#### (1) Outline

The households with assets are major stocks of the people living in the flood-prone areas. It is thus necessary to consider household damages in flood risk assessment towards development of flood risk assessment model. The direct damage of house and assets varies according to the socio-economic group of the community, which can be categorized based on flood characteristics. To observe the household and flood characteristics in the Pampanga river basin of the Philippines, a field investigation was carried out in June 16-22, 2013.

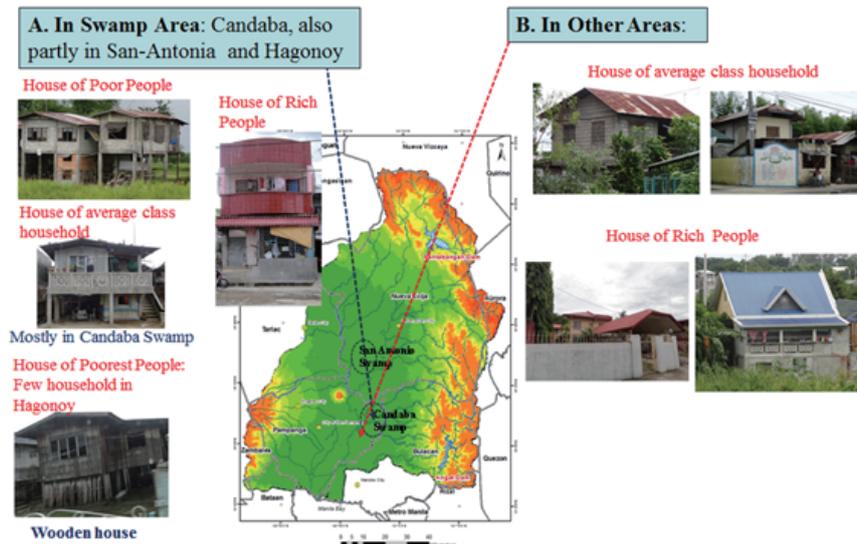


Figure 1.5-21: Households types in the Pampanga river basin of the Philippines.

#### (2) Household characteristics in the Pampanga river basin

During the field investigation in June 2013, it was observed that elevated houses using concrete stilts can be found in the Swamp areas of the Pampanga river basin, mainly in the Candaba Swamp. In the Candaba Swamp area, houses can be categorized mainly into two groups: (a) normal house and (b) elevated house with stilts. Further, it can also be categorized into two groups based on walls: (i) concrete block wall and (ii) wooden wall. However, in other

areas, house can be categorized as (a) normal house with concrete wall and (b) normal house with wooden wall. Fig.1.5-21 shows the different types of houses in the Pampanga river basin. The assessment of house damage will be carried out by considering house types, socio-economic factors and their daily life styles. It is also planned to conduct household survey in the flood prone areas of the Pampanga river basin tentatively in March 2014 to collect information on household and flood characteristics. By reviewing experiences of past study of house damages estimation in Cambodian floodplain of Lower Mekong Basin under Technical Assistance 7276 of Asian Development Bank and West Rapti River basin in Nepal under KAKUSHIN program, the house damages can be estimated by developing damage function/threshold criteria of the damages according to flood characteristics and by considering socio-economic characteristics. In further, to develop appropriate house damage function, it is necessary to collect information and data on flood and socio-economic characteristics in the Pampanga river basin.

### 1.5.2.3 カンボジア・メコン川の洪水氾濫予測シミュレーションに用いる河床高計測とその推定方法の検討

メコン川下流域の洪水氾濫リスクマネジメントを実施するために、現地調査に基づいた家屋被害額の算定、Rainfall Runoff Inundation RRI (Model)による氾濫計算、衛星データから算定する実績氾濫による水位算定、現地調査に基づいた痕跡水位の計測を実施している。メコン川は数キロに及ぶ川幅を持ち、例えばカンポンチャムにおける洪水ピーク時の流量は  $40,000\text{m}^3/\text{s}$  を超える。このような流域における河川において氾濫解析を実施するにあたり、氾濫流量と河道内を流れる流量を大雑把に把握することが重要となる。ここではカンポンチャムからプノンペンにかけて、約100kmの河道を、2km程度のピッチで超音波多層型流速計(以降、ADCP)を用いて、横断測量による水深の計測、河川水流量の計測を実施した。また同時に、高さ方向の精度が $\pm 15\text{cm}$ 程度の高精度GPSを使用して、河道内の水位を計測した。またここでは、水深を推定する方法を議論する。

図1.5-22はプノンペンからカンポンチャムまでのメコン川の航空写真と、観測時の航跡、代表的な観測側線を示す。表1.5-4はそのときの計測結果の一例を示す。

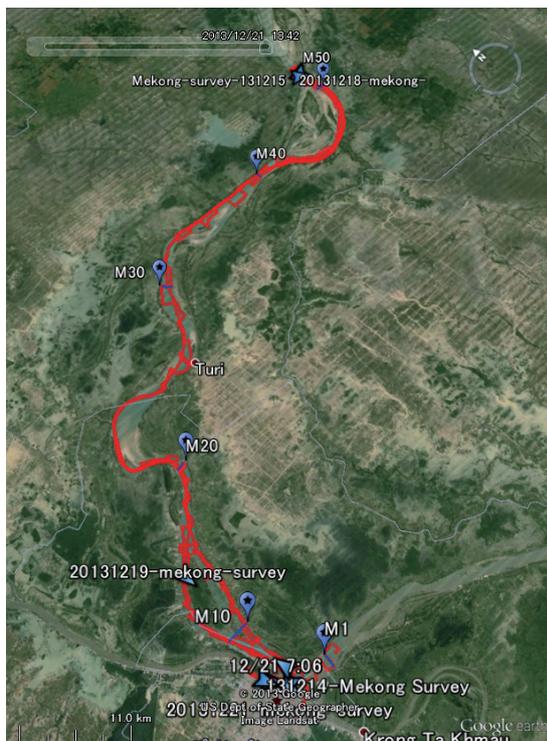


図1.5-22：メコン川と計測断面

表1.5-4：各計測側線における河床高と流量

sectbn #	TotalQ	Width	TotalArea	depth
	$\text{m}^3/\text{s}$	m	$\text{m}^2$	m
M 6	8316.1	1136.4	18490.7	16.3
M 7	8334.0	1017.5	18762.5	18.4
M 8	6699.2	1039.1	19838.1	19.1
M 16	7960.2	1879.1	17980.4	9.6
M 17	7750.2	1320.6	16582.0	12.6
M 18	7664.3	714.7	16420.4	23.0
M 19	7459.2	747.2	14873.3	19.9
M 20	7940.0	1209.5	18099.9	15.0
M 21	7205.0	1039.1	17636.3	17.0
M 22	6564.4	815.0	16985.0	20.8
M 23	6881.6	617.2	17654.3	28.6
M 24	7686.9	900.6	15233.8	16.9
M 25	7159.3	1375.3	15050.2	10.9
M 26	7607.1	2164.9	15074.6	7.0
M 28	7720.5	1346.3	16521.7	12.3
M 29	7224.9	1686.9	14102.7	8.4
M 30	7934.2	1184.8	15281.6	12.9
M 31	7142.1	828.1	13684.7	16.5
M 32	7202.7	846.2	14018.0	16.6
M 33	8050.9	1026.5	17483.5	17.0
M 33c	8156.2	1160.1	16755.2	14.4
M 37	7486.1	1585.9	12377.8	7.8
M 38	7512.0	1327.7	14699.5	11.1
M 39	7770.2	913.9	14883.1	16.3
M 40	7285.2	667.0	15687.0	23.5
M 41	7571.4	1070.2	12477.0	11.7
M 42	6591.9	1174.6	17398.6	14.8
M 51	7779.8	1465.8	15506.6	10.6
M 52	7695.9	975.9	18113.7	18.6
M 53	6688.5	695.7	17629.7	25.3
M 54	7231.3	556.1	16187.8	29.1
M 55	6951.0	899.3	17128.3	19.0
M 56	7790.2	1079.4	15880.4	14.7
average	7485.2	1105.0	16196.9	16.2

この観測では大きな砂州が存在するような場所においては分量が生じていること、その支川での水深が浅くて曳航船が入れなかったために全断面の計測ができない測線もあった。表 1.5-4 はそれらをのぞいたすべての測線における総流量； Total Q、 ADCP による計測流量、測線幅； Width、河積； Total area、平均水深（Total area/Width）； Depth を示す。総流量は、 ADCP による計測流量、上層、下層、左右岸不感帯の推定流量を加算したものである。また川幅は計測断面の幅と左右岸の距離計測によるものを加算したものである。また同区間は他の河川との合流もないこと、水位の日変化が流量としては無視できるほど小さいことを前提に考えると、ほぼ断面における流量の連続性が保たれていて、全断面において、このときの流量は、7,500m<sup>3</sup>/s 程度であることがわかる。

また横断測量を実施した断面においての最大の川幅は 2,165m、最小で 556m となり、大きく変化し、それに応じて水深も変化している。ここでは紙面の都合上示さないが、河岸湾曲部においては、教科書にあるようないわゆる湾曲部の河床地形が多く見られた。

#### 1.5.2.4 カンボジア・メコン洪水多発集落における家屋の地理的分布と洪水被害

昨年度の予備的調査（上米良他、2013）の結果を踏まえて、洪水多発集落における家屋の地理的分布とその変遷、居住・生活様式及び最近の洪水被害状況について、より詳細な現地調査を実施した。

カンダル州北端、メコン川右岸に位置するムクカンプル郡の集落（図 1.5-23、黄色の実線で囲まれた領域）を対象に、雨季終了直後の 2013 年 12 月に聞き取りと測量による家屋調査を実施した（631 家屋で聞き取り、うち 425 家屋で測量）。調査項目は、家屋の立地（経緯度、地盤高）、特徴（世帯数、世帯人員、家屋の素材・構造、建築面積、床高、築年数、建築期間、建築費用）、2011 年及び 2013 年洪水時の浸水深と家屋被害額（家屋修繕費用）である。加えて、集落の居住・生活様式を理解するための聞き取りを実施した。

初期解析の結果、家屋の地理的分布及び洪水被害状況について次のような特徴が明らかになった。調査対象地域では、河岸沿いに発達した自然堤防を横切るかたちでメコン川から後背湿地に向かって複数の水路が延びており、それらの水路沿いの微高地に家屋が密に分布している。そして、水路から離れるに従って地盤は低くなり家屋密度は次第に疎となる。また、近年最大規模の 2011 年洪水と直近の 2013 年洪水とでは浸水域の広がり方や水深分布が異なり、それに伴って各家屋の洪水被害の程度やその地理的分布も異なる。

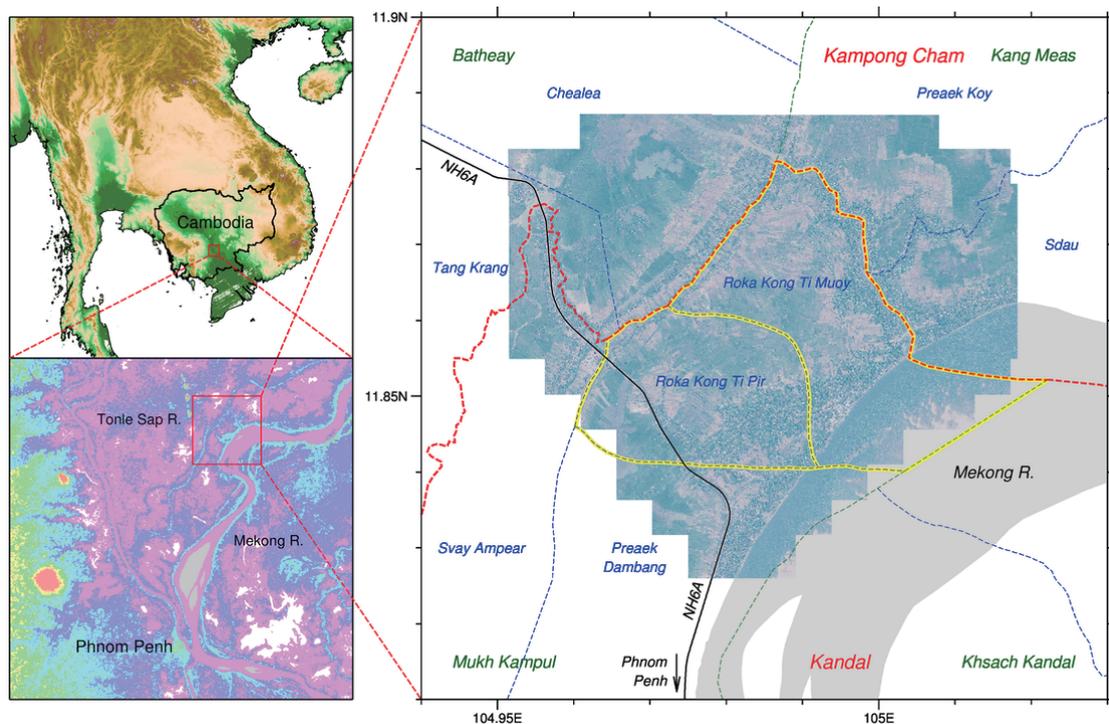


図 1.5-23：現地調査対象地域（黄色の実線で囲まれた領域）

### 1.5.2.5 ソロ川におけるリスク評価のためのデータ収集状況

洪水・渇水によるリスク評価を行うためには、雨量・流量といった基本的な水文データのみならず、流域内の利水状況や過去の洪水・渇水による被害程度等を把握しておくことが必要である。本節では、特定脆弱地域のうちの一つであるソロ川の2013年9月の調査時点でのデータ収集状況を報告する。図1.5-24にはソロ川流域及び2007年洪水の浸水範囲を示す。また、Fahmi *et al* (2008)によって報告されている2007年洪水の被害状況を表1.5-5に示す。

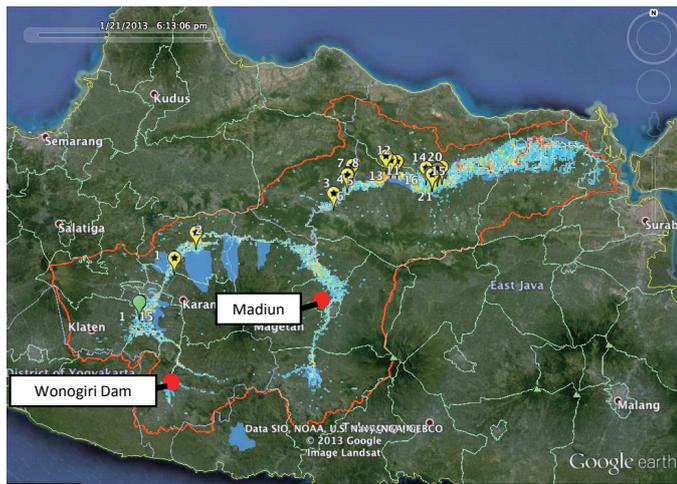


図1.5-24：ソロ川流域及び2007年洪水の浸水範囲  
(インドネシア公共事業省による報告及びRRIモデルによる出力結果, 黄色のフラッグは2013年1月調査におけるHousehold Survey調査地点)

2013年9月調査では、「水供給」、「水需要」、「過去の被害程度」に重点を置いてデータの収集を行った。収集状況を表1.5-6に示すが、被害の大きな要素の一つである農業被害面積については2007年洪水・1997年渇水ともにデータを入手した。当該データはひと月に2回調査されたもので、作物の品種毎、栽培された地区毎にまとめられたものである。2007年12月の2回目調査の被害面積データを表1.5-7に示す。なお、表1.5-7は中部ジャワ島について合計されたものである。

表1.5-5:2007年洪水の被害状況(Fahmi *et al* (2008))  
の報告のうち、被害額と死者数を抽出)

地区	被害額 単位 :10億ルピア)	死者数
Wonogiri	42	9
Sukoharjo	31.29	1
Karanganyar		77
Sob	11.258	
Sragen	192	5
Ngawi	40	5
Bambang		2
Bogorejo	598.3	
Tuban	25.6	
Lamongan	10.1	
Gresik	30	1
計	980.548	100

表1.5-6：データ収集状況

収集済み		入手元
水供給	Wonogiri Dam から上流域及びMadiunへの水配分計画	BBWS/PJT1
水需要	耕作面積	DP
	クロープカレンダー	DP
	作物必要水量	BBWS/PJT1
過去の被害程度	農業被害 (面積) (1997-2010) 洪水・渇水)	DP
	家屋被害 (2012-2013) 洪水)	BPBD
その他	人口統計	BPS

ここで、インドネシア国公共事業省ソロ川事務所 (BBWS: BALAI Besar Wilayah Sungai, Bengawan Solo) 水資源公社 (PJT1: Jasa Tirta 1 Public Corporation) 農務省 (PD: Dinas Pertanian) 地方防災局 (BPBD: BADAN PENANGGULANGAN BENCANA DAERAH) インドネシア国中央統計庁 (BPS: Badan Pusat Statistik) である。

表 1.5-7 : 2007 年 12 月の 2 回目の被害面積調査結果 (中部ジャワ島)

	被害面積 (Unitha)	
	A ffected	Lost
米	45893	27501
トウモロコシ	2625	1431
落花生	234	207
大豆	1108	631
玉葱	421	1
チリ	13	9
キャッサバ	109	58
さざげ	1	1
バナナ	6665	6665

## f. 考察

(1) 流域スケールでの影響評価に関する考察については、次の通りである。

フィリピン・パンパンガ川流域: 本流域を対象としてダウンスケーリング実験を行ったところ、ERA-interim が最も再現性が良いことを確認した。25 年間の年最大雨量の出現確率分布を求めた結果は、MRI-AGCM3.2S 現在気候は地上雨量計の結果と近いものだったが、ERA-interim の結果は出現確率の小さい雨を過大評価した。今後、温暖化実験のダウンスケーリングを進めていく予定であるが、結果の議論を行うにあたり、今回得られた確率分布の特性に注意して議論を行う必要がある

パンパンガ川流域を対象に氾濫適用モデルの検討を行った。中流付近(San Isidro 地点より上流)で氾濫が発生するため、上流部以外では洪水流出モデルよりも氾濫解析モデルの方が適用性が高い。さらにパンパンガ流域では湿地帯における氾濫水の貯留等を氾濫解析モデルにより考慮する必要がある。

For Pampanga river basin, flood and draught changes are investigated concerning economic loss. The damage curves of rice crops depend on each stage of rice crops and there is also uncertainty in flood damages. The calculated result of rice crops damages in case of Calumpit Municipality is reasonable with reported values. However, in case of Pampanga Province, there is significant variation between calculated and statistical values of rice crops damages because the statistical value of rice damages also includes rice crop damages due to strong wind in this case. The development of appropriate rice crop damage curves is necessary in further study. The method of flood damage estimation for risk assessment presented in the paper can also be applied other river basins such as Solo river basin of Indonesia, Lower Mekong basin in Cambodian floodplain, Indus river basin of Pakistan and Chao Phraya of Thailand.

Natural meteorological droughts were frequently observed in the Pampanga river basin due to lack of precipitation while only one socio-economic drought, i.e., the phenomena when water demand is unsatisfied by irrigation water supply, was recorded in 1998. We examined this pattern and found that the Pantabangan Dam provided water for the irrigation withdrawals in all cases of natural drought except year 1998. In 1998, the water storage in the dam, which was 20% of its capacity at the begging of growing season, was not sufficient to cover river water demand of 48, 484 ha for the entire growing season, see Figure 1.5-25. In April 1998, the dam water storage was exhausted and resulted in water deficiency of 92.8 MCM, see shaded area. This water deficit affected 44,293 ha of irrigational area using modified FAO irrigation manual module #4 with calculated Irrigation Water Demand of 0.024

cm/ha, see shaded area in Figure 1.5-25. For the 1998 socio-economic drought, BAS reported affected irrigation area of 17,130 ha and totally damaged area of 3,300 ha in the Pampanga River Basin. The discrepancy between the estimated and recorded affected area may be due to overestimation of the IDR values and/or underreporting of the affected area by BAS. However, no spatial data were available to validate affected and damaged irrigation area in 1998 drought. Therefore, our next task is to collect drought damage data for validation and estimation of the drought damage curve in the Pampanga river basin.

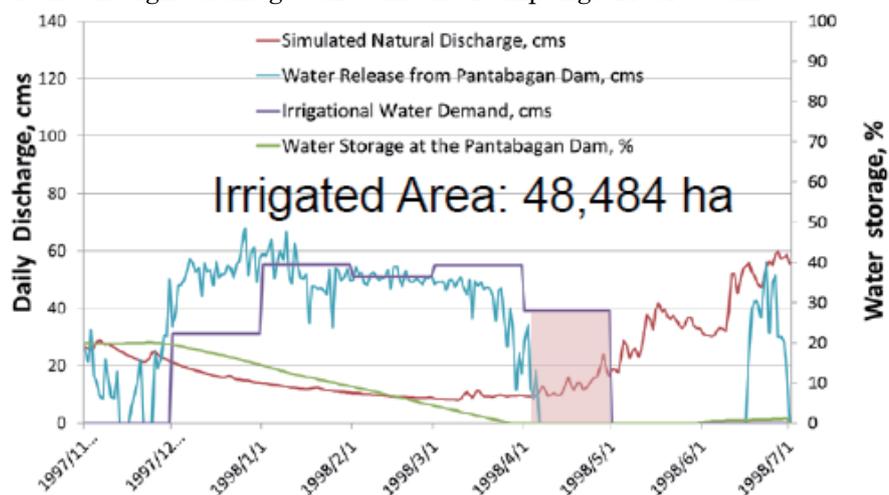


Figure 1.5-25 : historical drought in the Pampanga river basin

インドネシア・ソロ川流域：流出解析モデルを構築し、長期計算を行って初期値の違いが解析結果に与える影響を定量的に評価した。モデル上、地下の水分布について、仮想的に定常状態を再現したが、現実の水分布との違いについて検証できていない。これを検証する手法を見出すことが出来れば、より適切なモデル定数を見出し、再現性の高い解析結果が得られるものと考えられる。今後、GCM ダウンスケールが完了次第モデルに入力し、解析を行っていく。

タイ・チャオプラヤ川流域：本流域では、年降水量、年最大日降水量、6ヶ月雨量のいずれも将来に増加しており、2011年タイ洪水をもたらした降水量（約1400mm）の再現期間は、現在気候で24年であったものが、将来では約10年に短くなった。同様に各アンサンブルメンバーの予測雨量をRRIモデルに入力して氾濫量を推定した結果、2011年の氾濫量（約150mm）の再現期間が現在気候の29年から将来気候の12年と短くなった。この結果はチャオプラヤ川流域において、2011年のような大規模洪水の頻度が増加する可能性を示唆している。

(2) 特定脆弱地域での影響評価に関する考察については、次の通りである。

フィリピン・パンパンガ川流域：本川ではH-Q曲線を作成するための流量観測データが十分でなく、特に洪水時の流量の推定は非常に少ない。さらに河道横断面形状も変化しやすく、ピナツボ火山の噴火前後では大きく異なる。モデルのキャリブレーション等のためにもまず、既存データを精査し、実測の洪水流量を正確に捉えることが必要であった。さらに、被害の算定にあたっては湿地帯による洪水被害緩和機能を考慮する必要がある。

The direct damage of house and assets varies according to the socio-economic group which can be categorized based on flood characteristics. In the swamp areas of Pampanga river basin, the elevated house with stilts to avoid flood damages can also be found. The house damage function can be developed according to house types by considering daily life styles of house households and socio-economic factors. The socio-economic data and households characteristics with information of past household damages are necessary to collect in further for development of appropriate house damage curve.

カンボジア・メコン川中下流域：図1.5-26は表1.5-4の側線番号を横軸に、左縦軸を川幅、右

縦軸が水深である。◆は表 1. 5-4 の川幅、■の水深は表 1. 5-4 の結果である。また▲は推定水深であり、次の式から求めた。

$$h_{n+1} = h_n \cdot \left( \frac{B_{n+1}}{B_n} \right)^{-24/25}$$

上式は流量と流砂量の連続関係及び代表粒径、水面勾配、河床粗度が断面 n 及び n+1 において等しいと仮定し、断面 n の水深  $h_n$  と川幅  $B_n$ 、断面 n+1 の川幅  $B_{n+1}$  から断面 n+1 の水深  $h_{n+1}$  を算定するものである。ここでは M6 の河床高を初期値として、上式と表 1.5-4 の各段面の川幅から、推定水深を算定した。図が示すように■と▲を比較すると、上記のような単純な一次元の式を用いても概ね正しく算定できることがわかる。ただし、断面 31、32、34 の二つは 5m 程度のずれが生じている。これは上記の仮定が成立しないこと、流れが二次元的なことなどが考えられる。現に図 1.5-22 が示すように、断面 30 付近の断面 31、32、33 は河道湾曲部であることから、一次元的な流れでは説明できないことが推測される。

今後は、計測により得られた水位と水深から河床高を算定し、それを RRI の初期条件として使用する。また上記の推定水深に関して水面勾配、河床粗度の観点から考察を続ける。

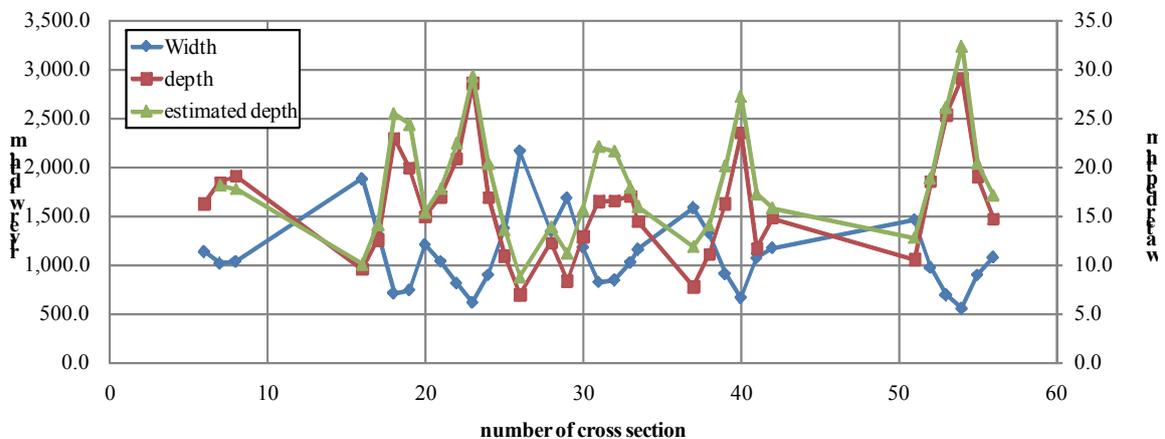


図 1.5-26：河道断面における川幅と水深の空間的变化

また、調査対象地域の地形と家屋の地理的分布の調査では、明瞭な対応関係を持つことが分かった。それ故、家屋密度分布を地盤高の関数として表現することで、集落の空間構造を数理的に記述できると考えられる。しかしながら、広域の洪水リスクを評価するためには、特定の地域に認められた集落の空間構造が、メコン川下流域に点在する多数の集落に共通する構造なのか確認する必要がある。その一手段として、今後、衛星観測を活用した分析に着手する。高分解能の光学衛星画像（IKONOS/GeoEye-1 画像等）や地形データ（ALOS 搭載 PRISM 観測等）を活用すれば広域の家屋分布や地形を詳細に把握できる。現地調査データとの比較により衛星観測の確からしさを検討した上で分析を進める。家屋の洪水被害の程度やその分布は浸水状況と関係していることから、浸水深の関数として家屋の洪水被害額を推計するための経験式を作成できると考えられる。被害額と浸水深の関係は家屋の素材・構造、床高、築年数等に応じて異なる可能性があるため、現地調査データの分析を進める。

インドネシア・ソロ川流域:表 1.5-6 のデータを用いて地区ごとに浸水面積と被害面積を比較してその関係性を分析した上で、将来において推定される浸水面積と比較する。それにより将来における被害面積を推定することができると期待される。今後は収集されたデータを活用して解析を進めながら不足しているデータの収集を進め、将来におけるリスク評価につなげていきたい。

## g. 引用文献

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

Fahmi H, Harry M. S, Harianto, 2008: Impact of Climate Change on Floods in Bengawan Solo and Brantas

- River Basins, Indonesia, International RIVER SYMPOSIUM
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations),1998: Crop Evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Water Requirements - FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Italy.
- JICA, 1989: Feasibility report on the Pampanga Delta Development Project, The Philippines.
- JICA,1992:The master plan study on the small-scale irrigation development project, National Irrigation Association, The Philippines
- Masutani, K., and J. Magome, 2008: Effects of the Novel Scaling Algorithm of River Networks on Discharge Simulations, Journal of Japan Society of Hydrology and Water Resources, Vol .21, Issue 23: 242-247
- Masutani, K., and J. Magome, 2013: Runoff analysis with DEM scale Independent TOPMODEL (in Japanese). Journal of Japan Society of Hydrology and Water Resources, Vol .26, Issue 1: 26-37.
- 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.
- Savva A.P. and Frenken K. 2002:Irrigation Manual: Planning, Development, Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation, Module 4, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Zimbabwe.
- Sayama, T., Ozawa, G., Kawakami, T., Nabesaka, S. and Fukami, K. 2012: Rainfall-Runoff-Inundation analysis of Pakistan flood 2010 at the Kabul river basin, Hydrological Sciences Journal, Vol.57, no.2, pp.298-312.
- Tomonobu Sugiura, Takahiro Kawakami, Go Ozawa, Kazuhiko Fukami, Jun Magome, Seishi Nabesaka, , 2010: EXPERIMENTAL APPLICATION OF FLOOD FORECASTING SYSTEM (IFAS) USING SATELLITE-BASED RAINFALL Proceeding of the 9th International Conference on Hydroinformatics (HIC2010), (2010), CD-ROM
- Yatagai, A., K. Kamiguchi, O. Arakawa, A. Hamada, N. Yasutomi and A. Kitoh. 2012: APHRODITE: Constructing a Long-Term Daily Gridded Precipitation Dataset for Asia Based on a Dense Network of Rain Gauges. Bull. Amer. Meteor. Soc., Vol .93: 1401-1415. doi: 10.1175/BAMS-D-11-00122.1
- 上米良 秀行・杉浦 愛・岡積 敏雄・萬矢 敦啓, 2013: メコン川下流域を対象にした家屋洪水被害推定手法の検証. 河川技術論文集, 19, 351-356.

## h. 成果の発表

### 論文

1. 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 B1(水工学), Vol. 69, No. 1, p. 14-29,
2. 建部祐哉・佐山敬洋・牛山朋来・藤岡 奨・田中茂信, 2013: チャオプラヤ川流域における長期降雨流出氾濫解析, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 69, No. 4, I\_457-I\_462.
3. 佐山敬洋・建部祐哉・藤岡 奨・牛山朋来・田中茂信, 2013: 大規模洪水氾濫の時空間起源分析に関する研究, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 69, No. 4, I\_463-I\_481, 2013.
4. 岡積敏雄, 田中茂信, 2013: 途上国へ適用可能な洪水リスク評価技術, 土木学会河川技術論文集, 第19巻, pp17-20, 2013年6月
5. 萬矢敦啓・上米良秀行・岡積敏雄・郭栄珠, 2013: 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, pp341-344, 2013年6月
6. 上米良秀行, 杉浦愛, 岡積敏雄, 萬矢敦啓, 2013: メコン川下流域を対象にした家屋洪水被害推定手法の検討, 土木学会河川技術論文集, 第19巻, pp 351-356, 2013年6月
7. 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, 2013: 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 第19巻, 2013年6月,

pp.345-350

8. A. Sugiura, S. Fujioka, S. Nabesaka, T. Sayama, Y. Iwami, K. Fukami, S. Tanaka and K. Takeuchi, 2013: Challenges on modelling a large river basin with scarce data: A case study of the Indus upper catchment. In Piantadosi, J., Anderssen, R.S. and Boland J. (eds) MODSIM2013, 20th International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 2013, pp. 2346–2352. ISBN: 978-0-9872143-3-1.
9. A. Yorozuya, H. Kamimera, T. Okazumi, Y. Iwami, and Y. Kwak, 2013: Estimation of water surface elevation on inundated area using satellite based information. In Piantadosi, J., Anderssen, R.S. and Boland J. (eds) MODSIM2013, 20th International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 2013, pp. 2353-2359. ISBN: 978-0-9872143-3-1.
10. Ushiyama T., T. Sayama, Y. Tatebe, S. Fujioka, K. Fukami, 2013: Numerical simulation of 2010 Pakistan flood in the Kabul River basin by using lagged ensemble rainfall forecasting. J. Hydrometeor., in press.
11. 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. 佐山敬洋, 建部祐哉, 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, 神戸大学, pp. 30 - 31, 2013.9.25
2. 佐山敬洋, 2013: 世界の水災害予測における PUB の挑戦, 水文・水資源学会創立 25 周年記念シンポジウム, 神戸大学百年記念館, 2013.9.27
3. Takahiro Sayama, Yuya Tatebe, Shigenobu Tanaka, 2013: Large-scale Flood Simulation with Rainfall-Runoff-Inundation Model in the Chao Phraya River Basin, Vienna, EGU Conference, 2013.4.12, (ポスター)
4. Shrestha, B. B., Okazumi, T., Tanaka, S., Sugiura, A. and Kwak, Y. 2013: Assessment of flood hazards and vulnerability in Cambodian floodplain, Proceedings of the 6th International Conference on Water Resources and Environment Research (ICWRER-6), June 2013.
5. Okazumi, T. 2013: Flood Risk Assessment and Disaster Data – Users’ perspective -, Expert Group Meeting on Improving Disaster Data to Build Resilience in Asia and Pacific, UNESCAP, Sendai, Japan, 30 Sep-1 Oct, 2013.
6. Okazumi, T. 2013: Development of Global Water-related Risk Indices assessing real phenomena of flood disasters, 9th MLIT-USACE Technical Exchange Meeting, 9 December, 2013.
7. Takahiro Sayama, Yuya Tatebe, Shigenobu Tanaka, 2013: How Sensitive is Large-scale Flood Inundation to Rainfall Variability? -Water Balance Analysis Based on Basin-wide Rainfall-Runoff-Inundation Simulation-, San Francisco, AGU Fall Meeting, 2013.12.13, (ポスター)

#### アウトリーチ

1. Yasuda, N., 2013: Activities of ICHARM and Recovery of Tohni-Hongo Area in Kamaishi City, Geohazards: Impacts and Challenges For Society Development In Asia Countries, 49<sup>th</sup> CCOP Annual Session, 22-23 October 2013, Sendai, Japan
2. 上米良秀行, 2013: メコン川下流域を対象にした家屋洪水被害推定手法の検証, オーガナイズドポスターセッション 2 「洪水流・氾濫流・浸水被害－現象と評価－」, 2013 年度河川技術に関するシンポジウム, 2013 年 6 月
3. 岡積敏雄, 2013: 河川・防災技術の現状と今後の方向性に関する話題提供「世界の多様な条件下でも標準的に適用できる技術開発」: オーガナイズドセッション「国境を越える河川技術」, 土木学会河川技術シンポジウム 6 月 7 日