

1.4.5 水災害リスク評価のための衛星地形データの活用手法の研究 (1) (2)

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 20～平 22

担当チーム：水災害研究グループ（国際普及・水文）

研究担当者：田中茂信、工藤啓、深見和彦、猪股広典、山下英夫

【要旨】

ネパールの西ラプティ川流域の下流部に位置する氾濫域を対象として、水災害リスク評価の一環として洪水規模毎の経済被害額および影響人口の試算を行った。経済被害額および影響人口の算定の基礎情報として必要となる家屋数や農地面積を光学衛星である QuickBird の画像から推定し、これらの情報と現地観測降雨、流出計算、氾濫シミュレーションを用いて設定した外力を組み合わせることで試算を行った。課題は残るが、衛星画像データや既存のシミュレーション技術を組み合わせることで経済被害額および影響人口の計算を行うことができることが確認された。

キーワード：発展途上国、衛星地形データ、洪水氾濫シミュレーション、水災害リスク評価手法、衛星画像

1. はじめに

近年、東南アジア等の発展途上国を中心として洪水被害件数、規模が拡大する傾向がある¹⁾。洪水被害対策を立案するにあたっては、洪水流出計算による洪水流量の計算や、洪水氾濫シミュレーションの実施による洪水氾濫特性の把握が行われる。しかし、洪水被害が多く発生する、または洪水対策が十分でない発展途上国を中心とした国々においては、洪水流出計算を行うための降雨量情報の収集や流出計算モデル構築技術が十分でない問題や洪水氾濫シミュレーションを行うために必要となる地形データが不十分もしくは存在しない問題が多く見られる。前者の課題である発展途上国における洪水流出計算については、人工衛星雨量データの精度検証²⁾や補正手法の開発³⁾、および総合洪水解析システムの開発⁴⁾など現在までに ICHARM で多くの検討が行われてきている。しかし、後者の課題である洪水氾濫シミュレーションについては、その解決策についての検討事例は少ない。そこで本研究では、発展途上国を対象とした洪水氾濫対策立案に資する洪水氾濫シミュレーション実施に向けた地形データについての検討を行う。具体的には、近年人工衛星から観測されたデータに基づいた全球の地形データが得られるようになってきており、その人工衛星地形データの精度検証および洪水氾濫シミュレーションへの適用性検討を行う。またその検討結果に基づいた水災害リスク評価手法の開発を行う。今年度は、ネパールの西ラ

プティ川流域の下流部に位置する氾濫域を対象として、水災害リスク評価の一環として洪水規模毎の経済被害額および影響人口の試算を行った。以下、今年度実施した検討の対象地域および経済被害額・影響人口の計算手法について述べる。

2. 対象地域

今回検討の対象とした河川流域は、ネパール南西部に位置する西ラプティ川流域である（図-1）。西ラプティ川は図-1 に示すようにネパールの南西側に位置し、全長 257 km、カーナリ川との合流地点までの流域面積は 6,215 km² に達する河川である。年平均降水量は 1,700 mm 程度であり、主に 6 月から 9 月に集中して降る。また、ネパール・インド国境では年平均流量 125 m³/s、最大流量 8,000 m³/s となっている。図-1 に示す流域の最下流部は低平地になっており、多くの人口、農地が集中する地域である。また、この地域では雨期に発生する集中した雨により洪水被害が頻繁に発生する。頻繁に洪水被害が生じることから推測できるように、この地域の洪水外力は比較的大きく、それに加えて堤防、ダムをはじめとしたハード面での洪水対策および早期警報といったソフト面での洪水対策も十分に取られていない。これら洪水が発生する要因が複数存在するためにこの地域は洪水に対して非常に脆弱となっている。よって、この地域を対象として洪水リスクを評価し、各種対策により被害が



図-1 西ラプティ川流域および雨量観測所の位置

どの程度軽減するかを評価することはこの地域の洪水対策立案に対して有効になると考え、この地域を検討対象地域とした。

3. 経済被害額および影響人口の試算方法の検討

経済被害額計算の既存の手法として、国土交通省河川局の「治水経済調査マニュアル」⁶⁾および国際連合ラテンアメリカ・カリブ海経済委員会の Handbook for estimating the socio-economic and environmental effects of disasters (以下、ECLAC)⁷⁾を参考にした。治水経済調査マニュアル、ECLAC 共に家屋被害、農地被害の他に商業被害、ライフライン切断による被害をはじめとして様々な被害項目についての言及されている。今回検討の対象とした西ラプティ川流域は、土地利用の多くが農地であり、その農地を中心として集落が分布しており、工業地帯や商業地帯はあまり存在しない。このことから、経済被害額推定の対象としては家屋被害および農地被害のみを対象とした。また、両資料を参考にしながら、今回は以下の手順で試算を行うこととした。

- (1) 洪水外力の設定
- (2) 家屋被害および農地被害推定の基礎データとして必要となる氾濫域内の家屋数、農地面積の推定
- (3) 家屋被害および農地被害推定の具体的計算手法の検討
- (4) 1) から 3) の結果を併せた経済被害額および影響人口の推定

以下、個々の過程について述べる。

3.1 洪水外力設定

洪水外力設定は以下の手順で行う。以下、それぞれについて述べる。

- (1) 現地観測降雨と衛星観測雨量を組み合わせた確率降雨量の推定
- (2) 求めた確率降雨量を入力としたIFASによる流出計

算

- (3) IFAS による流出計算結果を境界条件とした氾濫域の洪水氾濫シミュレーション

3.1.1 現地観測降雨と衛星観測雨量を組み合わせた確率降雨量の推定

西ラプティ川流域内外には、16箇所(390km²/地点)の雨量観測地点が存在する。観測開始時期は概ね全ての地点で1970年代初頭からであり、時間分解能は日単位である。西ラプティ川の流域面積は6,215 km²であり、日本の一級河川の流域面積と比較しても大きくは異なる。また、上流は急峻な山地であることも日本の一般的な河川流域と似た状況であると考えられる。土質等の条件については不確実な部分が残るが、上記のような理由から西ラプティ川流域は概ね日本の河川流域と近い形態であると仮定し、日本の河川流域でほぼ同じ流域面積を有する北上川(孤禅寺地点上流の流域面積:6,990 km²)、信濃川(小千谷地点上流の流域面積:9,720 km²)、江の川(江津地点上流の流域面積:3,800 km²)の計画降雨継続時間が2日間であることからこの検討でも降雨継続時間2日の降雨を対象として確率降水量を求めることとした。ここでは、30年、50年および100年確率の2日間降雨量を求めた。16地点の雨量データからティーンセン分割により流域平均雨量を求め、GEVにより上記の確率雨量を求めた。

西ラプティ川流域の流域面積は6,215 km²であるため、その洪水流出を流出計算によりできる限り正確に把握するためには1時間分解能の雨量データが必要である。しかし、この地域で観測されている雨量観測データは日単位であるためこの雨量データを入力とした流出シミュレーションでは実態に近い洪水流出を表現できない可能性が高い。また、日単位での観測であるため観測された雨量も24時間の雨量であるのか、それとも数時間のうちに発生した雨量であるのかの判断をつけることができない。そこでここでは1時間単位での雨量データが利用できるGSMaP_MVK+⁸⁾の活用を考える。GSMaP_MVK+はマイクロ波放射計を中心とした衛星で観測された情報により作成された1時間雨量値である。しかし、特に強い降水を対象として過小評価傾向であることが指摘されているためその生値を流出計算に用いると計算結果は過小評価することが報告されている²³⁾。GSMaP_MVK+は絶対量では過小評価する傾向があるが、降雨の継続時間については一定の精度が期待できるため、GSMaP_MVK+の降雨継続時間および降雨波形を参考にし、これと地上雨量データの絶対量を組み合わせることで利用できる時間雨量の作成を試みた。具体的には

GSMaP_MVK+のアーカイブデータが利用可能な 2003 年以降の 2 日間最大観測雨量である 2005 年 7 月 16-17 日の 2 日間降雨量を対象として、GSMaP_MVK+のその時の 2 日間降雨量 (68.6 mm/2day) と観測雨量 (138.7 mm/2day) から両者の比率を計算した。次に、GSMaP_MVK+から得られる時間雨量に求めた比率を乗じて補正時間雨量を算定した。また 30 年、50 年および 100 年確率の降水量 (それぞれ、153.3 mm/2day、171.6 mm/2day、178.6 mm/2day) についてもこの時の GSMaP_MVK+の降雨波形を引き延ばすことで推定した。

3.1.2 IFAS による流出計算

IFAS は ICHARM で開発を行っているユーザーインターフェイスを備えた流出計算システムである⁹⁾。ここでは IFAS に、3.1.1 で計算したそれぞれの確率降雨量を入力することで西ラプティ川流域の確率規模毎の河川流量ハイドログラフを求めた。IFAS に実装されている流出計算モデルは土研分布型モデル Ver.2 であり、今回の計算では検証に用いる観測時間流量が存在しないためパラメータは日本の吉野川流域でフィッティングしたパラメータを用いて、特にこの流域用にはパラメータの調整は行わなかった。

3.1.3 洪水氾濫シミュレーション

西ラプティ川流域の上流域側は急峻な山地であり、洪水被害が頻繁に発生する地域は下流にある低平地である。その低平地のネパール領である 85km² 程度を対象として (図-2) 洪水氾濫シミュレーションを実施した。境界条件としては、図-2 の北側の地点に対して 3.1.2 で計算した流量時系列を入力して洪水氾濫シミュレーションを実施する。

使用した洪水氾濫シミュレーションモデルは、土木学会水理公式集平成 13 年版に掲載されている平面二次元の洪水氾濫シミュレーションモデルである⁹⁾。標高データとしては SRTM を用いた。土地利用は光学衛星画像である QuickBird の画像から土地利用分類 (図-3) を作成し、粗度係数としてはそれぞれ農地:0.060、市街地:0.047、裸地その他:0.050 と設定した。メッシュサイズは 100m とした。

洪水氾濫シミュレーションとして、河道の流下能力を考慮して氾濫流量を計算することが必要であるが、ここでは河道の情報が取得されていないことから、河道の流下能力を考慮しないでシミュレーションを行った。また、この地域で洪水氾濫被害が発生する時は、多くの場合土砂を伴って洪水が氾濫するため、土砂が農地に堆積して長期間にわたり農地が利用できなくなることが多い。こ



図-2 氾濫シミュレーション対象メッシュおよび境界条件 (流量時系列) を与える地点 (南西側の黒線はインド-ネパール国境である。)

の地域の生活の主な基盤は農業であるため、本研究で目的とする洪水による経済被害額の評価を行うに当たっては土砂による農地への被害を考慮するべきであるが、今年度の検討としては土砂を排除するために必要とする日数等の情報が全く得られていないことから検討しないこととした。

3.2 家屋被害および農地被害推定の基礎データとして必要となる氾濫域内の家屋数、農地面積の推定

洪水による家屋および農地に対する経済被害を計算するためには、その基礎データとして氾濫域内の家屋数と農地面積が必要である。ここでは光学衛星画像である QuickBird の画像から氾濫域内の家屋数と農地の面積を推定した。

a) 用いた QuickBird 画像および家屋数、農地面積推定対象地域

図-2 が取得した QuickBird 画像である。撮影日は 2007 年 3 月 6 日であり、乾期の画像である。解像度は 50cm である。家屋数および農地面積の推定を行った地域は

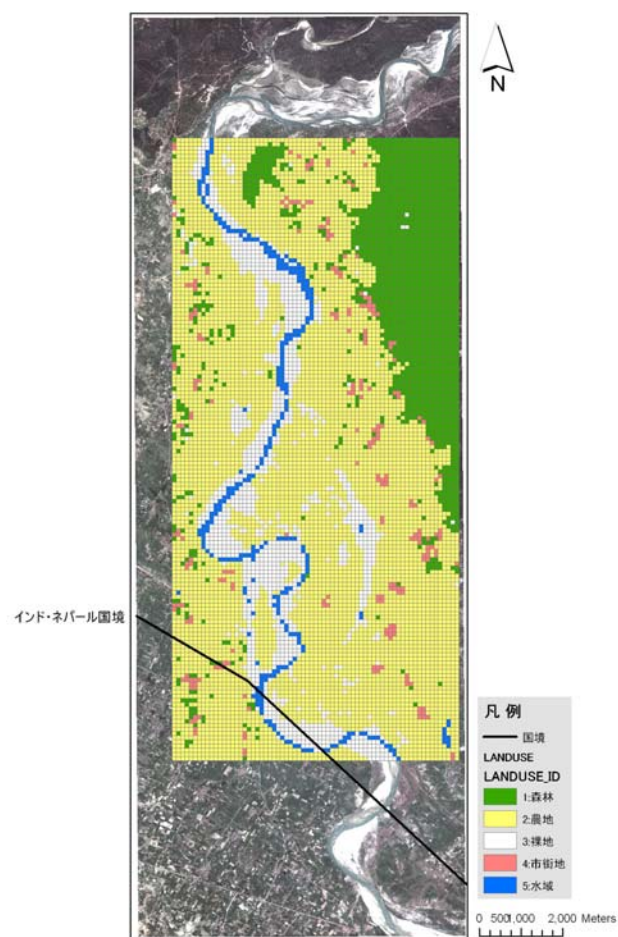


図-3 検討対象地域内の100mメッシュ毎の土地利用

図-2のグリッドで囲まれている地域のうちネパールに属する地域である。

b) 家屋数の推定

家屋数は、図-4に示すように QuickBird 画像から判読できる家の数を1件1件カウントした。その結果、氾濫域内には全部で9,099戸の家屋が存在した。また、後述する洪水被害額計算には家屋の平均面積が必要であるため、氾濫域内に位置する500戸を抽出し、それらの家の面積をGISにより計算した。その結果、平均家屋面積は115.7m²であった。被害額計算は100mメッシュ単位で行うため、100mメッシュの中に含まれる家屋の数を集計した。その結果を図-5に示す。

c) 農地面積の推定

農地面積は、QuickBird画像をオブジェクト分類（教師つきの最短距離法）によって推定した。図-6が100mメッシュ当たりの農地面積を示したものである。図-4の土地利用分類図および図-4の農地面積分布図より、この地域の主な土地利用が農地であることが衛星画像からも判断される。

3.3 家屋被害および農地被害推定の具体的計算手法の検

討



図-4 家屋数のカウント

3.3.1 被害額計算手法

3. で述べたように、今回検討の対象としている氾濫域の主な土地利用は家屋および農地であるため被害額としてはこれらに対してのみ発生すると仮定する。治水経済調査マニュアル⁶⁾およびECLAC⁷⁾を参考に、表-1に示す項目について被害推定することとした。各項目の計算方法も併せて表-1に示す。なお、表-1に示す項目以外にも、洪水後の住居移転や農地に堆積した土砂による農業生産活動の停止等の被害が現地では確認されており、本来はそれらの項目についても被害額計算に含めるべきであるが、被害の実態調査が必要であるため、今回の計算からは除外した。

3.3.2 被害額推定に必要な統計データ、パラメータ

表-1に示した各被害項目を計算するに当たって必要となる基礎データ、パラメータの取得方法についてここでは述べる。

【家屋の被害】

(1) 家屋の倒壊

- 家屋面積：3.2で述べたとおり、QuickBird画像を用いて平均的な家屋面積を求め、これを用いた。

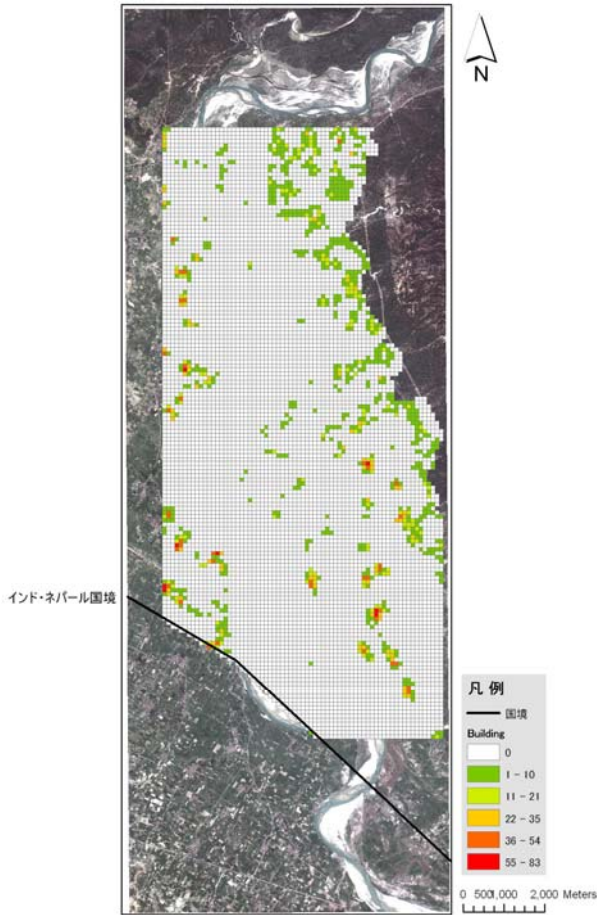


図-5 検討対象地域内の100mメッシュ毎の家屋数分布

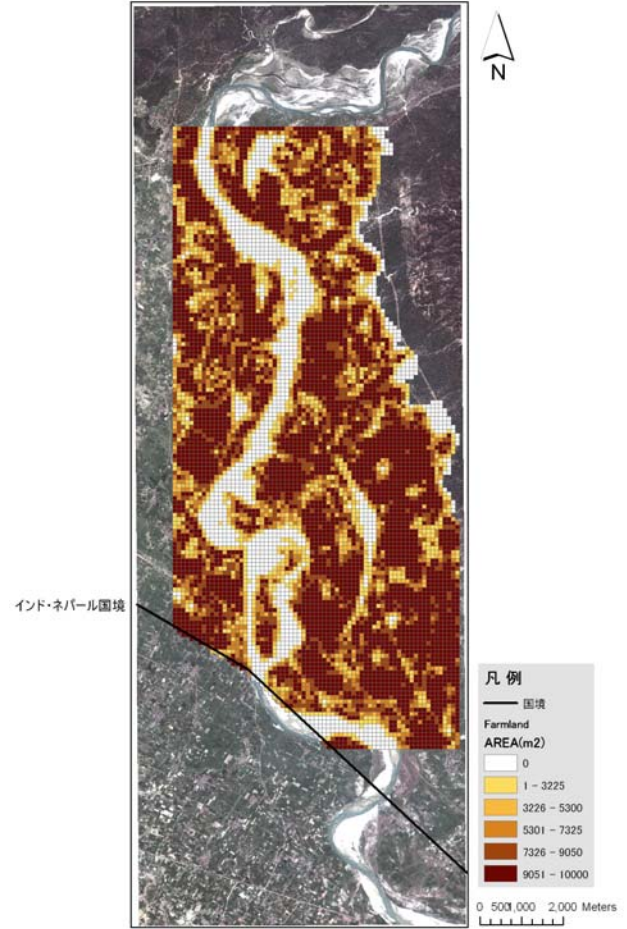


図-6 検討対象地域内の100mメッシュ毎の農地面積

- 浸水深・流速：3.1 で述べた洪水氾濫シミュレーションの結果を用いた。
- 面積当たり家屋価格：日本の面積当たり家屋価格 (156.7 千円/m²)¹⁰⁾に日本とネパールのGDP比を乗じて算出した。

(2) 被害家屋の撤去費用

- 倒壊家屋数：図-5 に示したメッシュ毎の家屋数を用いた。
- 撤去に必要な人数、日数：家の外観、材質を基に仮定し、15人/1日で撤去が完了すると仮定した。

(3) 家庭用品の被害

- 家屋件数：図-5 に示したメッシュ毎の家屋件数を用いた。
- 浸水深：3.1 で述べた洪水氾濫シミュレーションの結果を用いた。
- 1世帯当たり家庭用品評価額：日本の1世帯当たりの家庭用品評価額 (15,042 千円)¹⁰⁾に日本とネパールのGDP比を乗じて算出した。

表-1 経済被害額の計算項目およびその推定手法

対象	被害推定項目	内容	基礎データ	被害推定手法
家屋	家屋の倒壊	浸水または流水による建物の直接被害額を算定する。	・ 浸水深、流速 ・ 1棟あたり平均面積 ・ 面積当たり家屋価格	■被害発生条件 次の条件のいずれかに達したら倒壊すると考える。 ・ 水深 3m ・ 流速 0.5m/s ■被害額の推定 被害額 = 倒壊家屋数 × 1棟あたり面積 × 面積当たり家屋価格
	被害家屋の撤去費用	被災後の倒壊家屋の撤去費用を算定する。	・ 倒壊家屋数 ・ 撤去に必要な人数、日数	■撤去費用の推定 撤去費用 = 人件費 × 倒壊家屋1軒あたりの撤去に必要な(日数 × 人数)
家庭用品	被害	浸水により被害を被る家具等の家庭用品の額を算定する。	・ 家屋軒数 ・ 浸水深 ・ 1世帯あたり家庭用品評価額	■被害発生条件 床上浸水に達した家屋ですべての家庭用品が被災する(被害発生率100%)とする。なお、床高は地上0.5mとする。 ■被害額の推定 被害額 = 1世帯あたり家庭用品評価額 × 床上浸水家屋数
	収穫物の被害	浸水によって栽培中の農作物が被害を算定。	・ 栽培作物 ・ 浸水深・浸水時間 ・ 面積当たり収量 ・ 栽培面積 ・ 作物価格	■栽培作物 出水期は米を栽培しているとする。 ■被害発生条件 浸水深1m以上で被害発生 浸水日数で被害率を設定 3日未満：1m以上で50% 3日以上：1m以上で100% ■被害額の推定 被害額 = 面積当たり収量 × 栽培面積 × 作物単価 × 被害率
農業	農耕機械の被害	浸水による農耕機械の被害を算定する。	・ 家屋軒数 ・ 農家比率 ・ 浸水深 ・ 農家1世帯あたり農耕機械資産額	■被害発生条件 床上浸水した家屋(農家)の100%で被害が発生するとする。なお、床高は地上0.5mとする。 ■被害額の推定 被害額 = 農家1世帯あたり資産額 × 床上浸水農家数

【農業被害】**(4) 収穫物の被害**

- 栽培作物：現地調査の結果より、洪水が発生する季節は主に米を栽培しているため、ここでは米を対象とした。
- 浸水深・湛水時間：3.1で行った氾濫シミュレーションの結果を用いる。
- 面積当たり収量：(社) 海外農業開発コンサルタント協会¹⁰より、2.3t/haとした。
- 栽培面積：図-6に示したメッシュ当たりの農地面積を用いる。
- 作物価格：JICA Nepal Officeによる物価調査結果¹²により、0.929USD/kgとした。

(5) 農耕機械の被害

- 家屋件数：図-5に示したメッシュ当たりの家屋数を用いる。
- 農家比率：76%とした。(Wikipedia調べ)
- 浸水深：3.1で行った氾濫シミュレーションの結果を用いる。
- 農家1世帯当たりの農耕機械資産額：日本の1世帯当たりの農耕機械資産額(2,272千円)¹⁰に日本とネパールのGDP比を乗じて算出した。

【洪水影響人口の推定方法】

洪水影響人口については、最初に図-5に整理した100mメッシュ毎の家屋数に対してネパールの1世帯平均人数(=5.83人/世帯)を乗じてメッシュ当たりの人口を推定した。次に、3.1で行った洪水氾濫シミュレーションにおいて、人が存在するメッシュに氾濫水が進行した時にこのメッシュ当たりの人口を洪水による影響を受けた人口と見なし、これを積み上げることで累計の影響人口を計算した。

3.4 被害額計算結果

以上の手法を用いて求めた確率年ごとの家屋被害および農業被害の被害額計算結果を表-2および表-3にそれぞれ示す。また、確率年ごとの洪水影響人口を表-4に示す。確率年が大きくなるにつれて、被害が大きくなる様子が確認できる。特に、30年確率と100年確率でみた場合、家屋被害額についてはおよそ2.5倍になり農業被害額については1.4倍となった。今回の算定結果は試算であるため、具体的な解析・考察については、4.に列挙する課題を今後解決してから行うこととする。

4. まとめと今後の課題

今年度は外力設定から洪水による経済被害額および影

表-2 家屋被害額計算結果 (単位：千\$)

	30年確率	50年確率	100年確率
家屋の倒壊	233	952	1,151
被害家屋撤去	4	16	19
家庭用品被害	2,337	4,366	4,673
家屋被害合計	2,574	5,333	5,843

表-3 農業被害額計算結果 (単位：千\$)

	30年確率	50年確率	100年確率
収穫物被害	2,479	3,200	3,305
農耕機械被害	268	501	537
農業被害合計	2,747	3,701	3,842

表-4 影響人口計算結果 (単位：人)

	30年確率	50年確率	100年確率
影響人口	6,647	12,418	13,294

響人口の計算を行った。既存の手法を活用しながら一連の被害推定まで行うことはできたが、精度を上げるための今後の課題として以下の点が上げられる。

- (1) 確率雨量の計算において、GEVのみを対象として計算を行った。その他の確率分布の適合度を確認していないため、今後検討が必要である。
- (2) IFASによる流出計算において、パラメータは日本の吉野川流域でフィッティングしたものをそのまま用いている。この仮定の妥当性について検討を行う必要がある。
- (3) 洪水氾濫シミュレーションにおいて、河道の流下能力を考慮していないため、過大な結果が得られている可能性がある。
- (4) 実際の現地での被害においては、洪水時の農地への土砂堆積は大きな無視できない問題であるため、これを考慮できるようにシミュレーションを改善または変更する必要がある。
- (5) 被害額計算を行うに当たって、多くのパラメータについて今回は試算ということで大胆に仮定して計算を行った。現地調査を通じて正確なパラメータ値を取得し、計算し直す必要がある。

参考文献

- 1) Adikari Y., J. Yoshitani, N. Takemoto, C. Ali: Technical Report on the Trends of Global Water-related Disasters – a revised and updated version of 2005 report, Technical Note of Public Works Research

1.4.5 水災害リスク評価のための衛星地形データの活用手法の研究(1)(2)

- Institute No.4088, 2008
- 2) Hapuarachchi P., H. Inomata, K. Fukami, M. Kachi, R. Oki: Applicability of satellite based precipitation data for near real-time flood forecasting, IPWG Workshop on the Evaluation of High Resolution Precipitation Products (PEHRPP), December 2007, Geneva
 - 3) Inomata H., K. Fukami: Application of a distributed hydrological model to the Pursat River Basin based on satellite-based rainfall data, Proceedings of “Mekong Research for the people of the Mekong”, pp.209-214, October 2006, Chiang Rai, Thailand
 - 4) 白石芳樹、深見和彦、猪股広典：雨域移動情報を活用した衛星降雨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、pp.385-390、2009 年 2 月 ICHARM：総合洪水解析システム (IFAS Version1.2) ユーザーズマニュアル、土木研究所資料第 4149 号、2009 年 6 月
 - 5) 国土交通省河川局：治水経済調査マニュアル (案)、2005 年 4 月
 - 6) 国際連合ラテンアメリカ・カリブ海経済委員会：Handbook for estimating the socio-economic and environmental effects of disasters、2003
 - 7) http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index_j.htm
 - 8) (財)土木学会：水理公式集例題プログラム平成 13 年版、pp.16、2002
 - 9) 国土交通省河川局：治水経済調査マニュアル (案) 各種資産評価単価及びデフレーター、2010 年 2 月
 - 10) http://www.adca.or.jp/page/pf/info_PF_H05/05kiso23.pdf
 - 11) <http://www.jica.go.jp/japandesk/nepal/gaikyo/gaikyo5.htm>

1.4.5 STUDY ON UTILIZATION OF SATELLITE-BASED TOPOGRAPHICAL DATA FOR FLOOD RISK ASSESSMENT (1) (2)

Abstract: In this fiscal year, the economic damage and numbers of affected people in the flood plain of lower West Rapti River Basin were estimated by combining the scale of flood magnitude and societal data. The magnitude of flood was estimated by inputting the probable rainfall to IFAS and inundation simulation was conducted accordingly. The number of houses and area of agricultural field which is the basic data for economic damage estimation were estimated based on satellite image of QuickBird.

Key words: QuickBird, probable rainfall, flood inundation simulation, IFAS, economic damage