

平成30年6月7日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06233

研究課題名(和文) 観測不足地域に適用可能な水災害危険度分布評価手法の開発

研究課題名(英文) Developing a method to assess flood risk applicable to data-scarce regions

研究代表者

市川 温 (ICHIKAWA, YUTAKA)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号：30293963

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、発展途上国など水に関する観測や情報が不足している地域に適用可能な水災害危険度分布評価手法を開発した。本手法は、大きく二つに分かれている。一つは人工衛星画像と水理計算による浸水深推定手法であり、もう一つは既往水害時の推定浸水深と被害額に基づく浸水被害関数推定手法である。前者は、人工衛星画像から得られた既往水害時の浸水域の広がりになるべく近くなるような浸水域の水面形を水理計算で求めることによって浸水深を推定するものであり、後者は、前者の方法によって推定された浸水深とそれに対応する被害額のペアから、被害関数を推定するものである。これらをベトナムの低平流域に適用し、両手法の妥当性を示した。

研究成果の概要(英文)：This study developed a method to assess flood risk in data-scarce regions. The method consists of two components: a method for estimating inundation depth using flood extent information derived from remote sensing images and hydrodynamic simulations, and a method for establishing flood damage functions of agricultural crops using estimated inundation depth and flood disaster statistics. The first method is to estimate inundation depth which gives the best fit with flood extent derived from remote sensing images, and the second method is to establish flood damage functions based on inundation depth estimated by the first method and crop damage statistics. These methods showed reasonable results in the applications to lower catchments in Vietnam.

研究分野：水文学

キーワード：観測不足地域 水災害危険度 人工衛星画像 水理計算 被害関数 同定

1. 研究開始当初の背景

アジア地域を中心に、洪水氾濫による水災害に悩む国・地域は多い。これらの国・地域は、同時に発展途上国であることが多く、経済的制約から水に関する観測や情報が不足していることが一般的である。水災害の防止軽減には地域の水災害ハザードや水災害リスクを知ることが大いに役立つにも関わらず、このような地域では水に関する観測や情報が不足しており、またそれがために、国土・国民の水災害に対する脆弱性を解決することができず、発展の足かせとなっている。

当該申請者はこれまで、水災害防止軽減のための流域管理に関する研究（市川ほか（2007, 2010）など）を行い、浸水頻度の高い地区の土地利用や建物に規制を加えることで社会的費用を一定程度に抑えながら水災害による被害を大きく軽減できることを明らかにした。この研究は日本国内の河川流域を対象としたものであるが、社会基盤が十分に整っていない発展途上国では、水災害危険度の空間分布に関する情報の有効性はより高いものと考えられる。しかしその一方で、発展途上国では、水災害危険度分布情報の整備に必要な水関連の観測・情報も不足している。この困難を乗り越えて精度の高い水災害危険度分布情報を提示できれば、短期的には発災時の速やかな避難、中長期的には水災害危険度の高い地域からの移転といった、住民が自ら危険性を回避する行動を促すことが期待される。また、水災害危険度の空間的な分布が示されることで、優先的に対処すべきところが明らかとなる、土地利用計画と連携して水災害に強い地域づくりを進めるなど、効果的な防減災対策の立案が可能となる。

2. 研究の目的

本研究では、発展途上国など水に関する観測や情報が不足している地域に適用可能な水災害危険度分布評価手法の開発を目的とした。

具体的には、

- (1) 模擬生成した雨量値と降雨流出氾濫モデルによる水災害ハザード評価手法
- (2) 既往水害時の浸水状況と被害額に基づく浸水被害関数推定手法の開発を当初の目的としていた。

(1)については、観測不足地域では密な地上観測は期待できないものの、若干の地上観測雨量が利用できることも少なくない。一方、人工衛星観測雨量は、精度は高くないものの、地上観測情報が不足している地域でも利用できるという利点がある。本研究では、地上観測雨量から得られる情報を人工衛星観測降雨から得られる時空間的統計情報で補うことによって、観測不足地域の雨量値を模擬生成する手法を開発する予定だった。しかし、研究の開始後、思っていた以上に利用可能な

地上観測雨量データが少なく、人工衛星観測雨量と組み合わせたとしても、雨量データ模擬生成の基礎的情報として利用するにはやや無理があること、その一方で、近年その可用性が高まっている気象モデルのアンサンブルシミュレーション出力値を利用することで、(1)と同等の目的を達成できる可能性があることから、(1)については基礎的な検討にとどめた。

(2)については、人工衛星画像から得られた既往水害時の浸水域の広がりをもとに、その広がりになるべく近くなるような浸水域の水面形を水理計算で求めることによって浸水深を推定する手法を開発した。また、この推定浸水深と水害時の被害額から対象地域の浸水被害関数を推定する手法を開発した。観測不足地域であっても、水害時の被害額は集計されていることが多い。そこで、いくつかの既往の水害を対象として、推定浸水深と被害額のペアを作成し、浸水深から算定される被害額が実際の値に近くなる被害関数を推定した。

3. 研究の方法

(1) 人工衛星画像と水理計算による浸水深推定手法の開発

本研究では、水災害ハザード情報をリスク情報に変換するための浸水被害関数を推定する。浸水被害は第一義的には浸水深と密接な関係があるため、本研究では浸水被害関数として、浸水深と被害の程度(0%…被害なし, 100%…全壊)の関係を表すものを考える。したがって、浸水被害関数の推定には、水害時の浸水深が必要となるが、一般にそのような情報が得られることは少ない。そこで、水害時の浸水深を推定する手法を開発した。具体的には、人工衛星画像から得られた既往水害時の浸水域の広がりになるべく近くなるような浸水域の水面形を水理計算で求めることによって浸水深を推定した。開発した手法は、既往水害の浸水深が得られている地域で検証した。

①基本的な考え方

浸水域の広がりを把握するため、しばしば人工衛星画像が用いられている。人工衛星画像の利点は、一度に広い範囲の情報が得られるところにある。浸水域の広がりをおおまかに把握するには非常に便利である。その一方で、人工衛星画像を用いた浸水域の判別には誤差が伴う。実際には浸水していないのに浸水していると判別したり、その逆に浸水しているにもかかわらず、浸水していないと判別してしまう可能性がある。

たとえば、図1は、ベトナムのCa川流域において、人工衛星画像から判別された浸水域の水際線の標高値をプロットしたもので

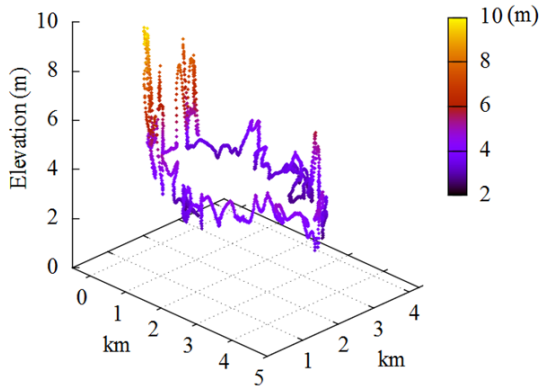


図 1 人工衛星画像から推定された浸水域水際線における標高値

ある。浸水域の水際線であるならば、標高値は滑らかに連続することが期待されるが、この図に示されている標高値は不自然に大きく変動している（標高値の妥当性は別途確認している）。このことから、人工衛星画像から判別された浸水域の位置には一定程度の誤差が含まれていることがわかる。

もしこの誤差が十分小さければ、図1のようにして抽出した水際線の標高（すなわち水際線における氾濫水位）から浸水域内部の水位を何らかの方法で内挿し、浸水深を推定する、ということが可能だが、図1を見る限り、そのような単純な手法では浸水深を精度よく推定することは難しいと考えられる。

そこで本研究では、人工衛星画像によって推定された浸水域（と思われる領域）の位置を信頼するのではなく、人工衛星画像によって捉えられた浸水域の広がりに関する情報を用いて浸水深を推定する。具体的には、人工衛星画像によって推定された浸水域（と思われる領域）内部で氾濫計算を行い、氾濫計算から算定される wetted area (図 2) が人工衛星画像から算定される wetted area に最も近くなったときの氾濫計算結果から浸水深を推定する。

wetted area とは、氾濫水と接触している地表面の面積である。単なる浸水域の水平二次元的な面積ではなく、鉛直方向も含めて三次元的に計測した面積である。水理学で使われる潤辺 (wetted perimeter) を面に拡張した概念である。人工衛星画像では浸水域の広がり（すなわち wetted area）が精度よく捉えられていると仮定する。そして、様々な降雨強度を入力として氾濫計算を行い、定常状態における wetted area を算出する。この算出された wetted area が人工衛星画像から求められた wetted area に最も近くなった計算結果が一番もってもらいたいとして、この結果から浸水深を求める。

② 氾濫計算に用いた基礎式

氾濫計算には浅水方程式を簡略化した局

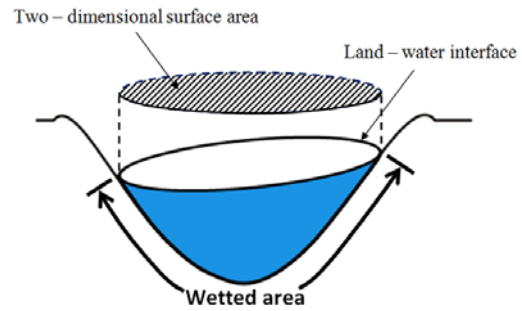


図 2 wetted area の定義

所慣性方程式を用いた。対象地域（ベトナム）は低平であり、氾濫水の移流項成分は他の項と比較して十分小さいと考えたためである。以下に局所慣性方程式を示す。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = r \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - gn^2 u \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/2}} \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - gn^2 v \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/2}} \quad (3)$$

ここで t [T] は時間、 h [L] は水深、 x と y [L] は空間座標、 M と N [$L^2 T^{-1}$] は単位幅流量、 r [$L T^{-1}$] は降雨強度、 $H (= h + z)$ [L] は水位、 z [L] は地表面標高、 u と v [$L T^{-1}$] は流速、 g [$L T^{-2}$] は重力加速度、 n [$T L^{-1/3}$] はマンニングの粗度係数である。

③ 浸水深の推定結果

上述の手法を適用して浸水深を推定した結果については「4. 研究成果」で示す。

(2) 既往水害時の推定浸水深と被害額に基づく浸水被害関数推定手法の開発

(1)の手法を用いて推定した浸水深と水害時の被害額から対象地域の農作物浸水被害関数を推定する手法を開発した。観測不足地域であっても、水害時の被害額は集計されていることが多い。そこで、いくつかの既往の水害を対象として、推定浸水深と被害額のペアを作成し、浸水深から算定される被害額が実際の値に近くなる被害関数を推定する。具体的には、被害関数の関数形をいくつか想定し、その関数のパラメタを SCE-UA 法などのパラメタ同定手法で同定する。開発した手法は(1)と同様に検証した。

① 基本的な考え方

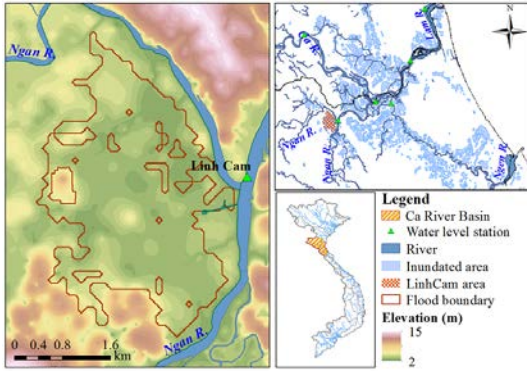


図 4 対象地域 (Ca 川流域)

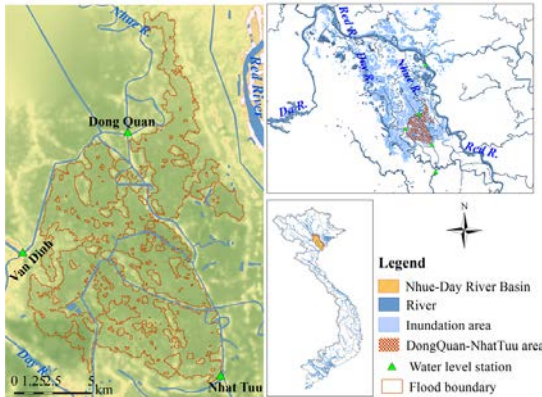


図 3 対象地域 (Nhue-Day 川流域)

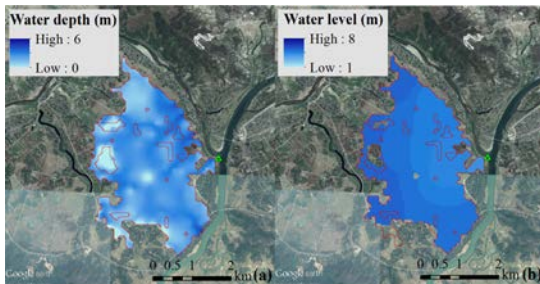


図 5 Ca 川流域における推定浸水深 (左), 浸水位 (右)

観測が不足している地域では、水害時の浸水深に関する情報も不足していることが一般的である。本研究では、(1)で示した手法を用いて、対象地域の浸水深を推定する。その一方で、水害による農作物被害額が浸水深の大小で説明されると仮定し、いくつかの被害関数 (浸水深と被害額の関係式) を想定する。ここでは、(a)二次関数、(b)指数関数、(c)S字型関数を検討した。そして、推定浸水深を上記の被害関数に代入したときに、実際の被害額をよく再現できるように、関数に含まれる定数 (パラメタ) を SCE-UA 法で同定する。

②用いた被害関数

本研究では被害関数として、上記の三種類

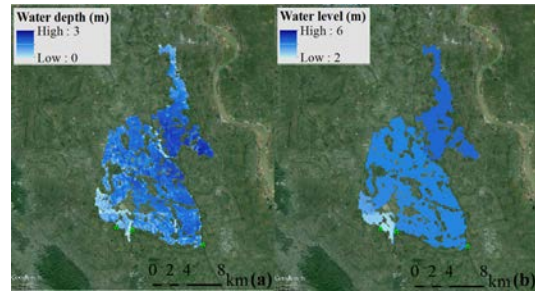


図 6 Nhue-Day 川流域における推定浸水深 (左), 浸水位 (右)

を想定した。以下に、それぞれの式を示す。

$$(a) \quad y = ax^2 + (1-a)x \quad (4)$$

$$(b) \quad y = \frac{1}{(a-1)}(a^x - 1) \quad (5)$$

$$(c) \quad y = \frac{h^b}{a+h^b} \quad (6)$$

ここで y は被害率、 $x = h/h_{\max}$ 、ただし h は浸水深、 h_{\max} は被害率が 1 (100%) になる浸水深、 a と b は定数である。 h_{\max} 、 a 、 b はパラメタであり、SCE-UA 法で同定される。(4)式におけるパラメタ a は 0 以上 1 以下、(5)式におけるパラメタ a は 1 より大きい、(6)式における a 、 b はそれぞれ 0 より大きい、1 より大きいという条件がある。

③被害関数の推定結果と推定被害額の検証

上述の手法を用いて被害関数を推定した結果と、被害関数によって推定された被害額の検証については「4. 研究成果」で示す。

4. 研究成果

(1)人工衛星画像と水理計算による浸水深推定手法の開発

3. (1)で述べた手法を用いて浸水深を推定した結果を示す。

図 3, 4 は、対象地域を示したものである (それぞれ、Ca 川流域、Nhue-Day 川流域)。図中の赤線が人工衛星画像から推定された氾濫域の水際線を示している。一番外側の水際線を氾濫計算の計算領域として、様々な降雨強度を入力し、氾濫計算を実施した。

図 5, 6 は、それぞれの地域で推定された浸水深、浸水位である。浸水深、あるいは浸水位の観測値はほとんどないため、検証することが難しいが、浸水域近傍の河川で観測された水位と推定浸水位を比較した。その結果、Ca 川の Linh Cam 観測所の観測水位が 4.78m だったのに対し、その近くの推定浸水位は

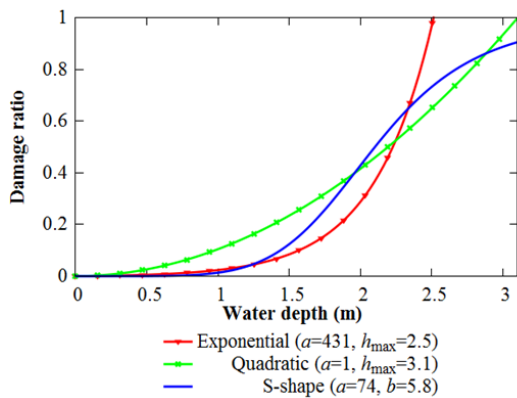


図 7 同定された被害関数とそのパラメタ値

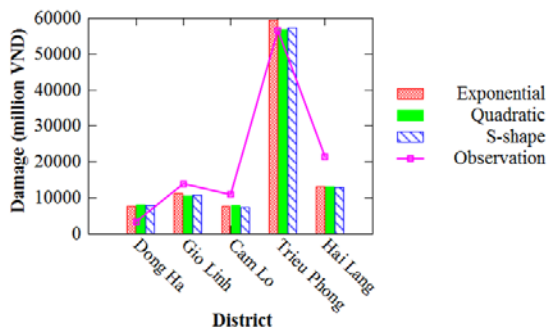


図 9 農作物被害額の実績値と推定値

4. 84m であり、まずまずの推定精度であった。また、Nhue-Day 川の Dong Quan 観測所での観測水位が 4.21m であったのに対し、その近くの推定浸水深は 4.19m であり、こちらも十分な推定精度を示した。

以上より、本研究で開発した浸水深（浸水位）推定手法は、十分な推定精度を有していると判断される。

(2) 既往水害時の推定浸水深と被害額に基づく浸水被害関数推定手法の開発

3. (2) で述べた手法を用いて被害関数を推定した結果、ならびに、その被害関数を用いて推定された被害額について示す。

図 7 は、同定された被害関数とそのパラメタ値である。二次関数型被害関数は、浸水深の小さいところから比較的大きな被害率を与えるのに対して、他の二つの関数は、浸水深が 1.5m に達するまでは被害率が小さい（10%程度）のが特徴的である。浸水深が 2m を超えると、二次関数型と S 字型の被害関数は比較的近くなるのに対し、指数関数型被害関数は浸水深が 2.5m に達すると被害率 100% となり、他の二つとはやや大きな違いを示す。

図 8 は Thach Han 川流域の 5 つの区 (district) における農作物被害額の実績値と推定値を示したものである。いずれの関数も似た推定値を示し、また実績値とも比較的よく一致している。

しかし、その一方で、三つの被害関数は、

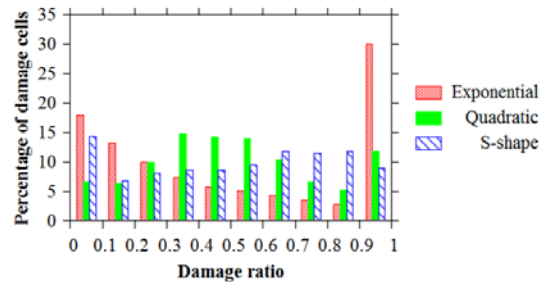


図 8 被害率の頻度分布

同じ浸水深に対して異なった被害率を与える。図 9 は Ca 川における被害率の頻度分布を示したものである。たとえば指数関数型被害関数は、対象地域全体の 30% において被害率が 90~100% であると推定しているが、他の二つの被害関数ではそのような高い被害率を示す地域は全体の 10 数パーセントと推定している。

このように、本研究で推定した被害関数は、区レベルの総被害額の算定には成功しているが、それより小さい空間スケールでの被害額を算定するのは困難であると思われる。被害関数のパラメタを同定する際に、区レベルの集約された被害額のほかに、一部の地域でもいいので、より詳細なスケールでの被害額を用いることで、被害関数同定に伴う不確実性を減らすことができるのではないかと考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

① Nhu Y Nguyen, Yutaka Ichikawa and Hiroshi Ishidaira, Establishing flood damage functions for agricultural crops using estimated inundation depth and flood disaster statistics in data-scarce regions, Hydrological Research Letters, 査読有, 11(1), 2017, 12-18.

<http://doi.org/10.3178/hrl.11.12>.

② Nhu Y Nguyen, Yutaka Ichikawa and Hiroshi Ishidaira, Estimation of inundation depth using flood extent information and hydrodynamic simulations, Hydrological Research Letters, 査読有, 10(1), 2016, 39-44.

<http://doi.org/10.3178/hrl.10.39>.

[学会発表] (計 1 件)

Nhu Y Nguyen, Yutaka Ichikawa and Hiroshi Ishidaira, Estimation of Inundation Water Depth using Flood Extent Information and Hydrodynamic Simulations, 土木学会年次学術講演会, 2015.

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

市川 温 (ICHIKAWA, Yutaka)

京都大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号： 30293963

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

Nhu Y Nguyen (山梨大学大学院生, 当時)