河川技術論文集, 第 19 巻, 2013 年 6 月

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

VALIDATION OF A METHOD FOR ESTIMATING FLOOD DAMAGE TO HOUSES IN THE LOWER MEKONG BASIN

上米良 秀行[1]・杉浦 愛[2]・岡積 敏雄[1]・萬矢 敦啓[2]

Hideyuki KAMIMERA, Ai SUGIURA, Toshio OKAZUMI and Atsuhiro YOROZUYA

[1]正会員 工修 土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター (〒 305-8516 つくば市南原 1-6)
[2]正会員 Ph.D. 土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター (〒 305-8516 つくば市南原 1-6)

The present study explains a method for estimating flood damage to houses in the Lower Mekong Basin. For the 2011 flood, two different methods were applied to estimate geographical distribution of floodwater level and depth, and the results were compared with field survey data. Unfortunately, estimated floodwater levels and satellite land surface elevations did not show good agreement with the field survey data, and thus floodwater depth estimates also did not show good agreement. Empirical relationships to evaluate flood damage to houses as a function of floodwater depth above house floor were derived and validated using the field survey data for the flood events in 2006 and 2011. The results show that better estimation of house damage with smaller error can be obtained if the relationship is constructed as not single function in the entire region but in each individual subregion.

Key Words: *Lower Mekong Basin, flood damage to houses, damage function, risk management*

1. はじめに

メコン川下流域に広がる沖積低平地では、南西モンスーンに伴う雨季の到来と共に大規模な洪水氾濫が生起する。この一年周期の氾濫現象が河道周辺低平地への水量配分と肥沃な壌土の提供を通じて現地の農業や漁業を支え人々の暮しを支えている。その反面、流域に暮らす住民や社会が毎年の様にこうむる洪水被害の規模は決して小さくない。洪水被害の状況を正確に把握する必要がある。

洪水被害の程度を客観的に数量化する手段として古くから用いられているのが、被害関数 (又は被害曲線) に基づく被害推定である。これは洪水による家屋被害や農業被害の程度を、氾濫流を特徴付ける因子、即ち、浸水深や浸水期間、氾濫流速等の関数として表現し被害推定しようとするものである。方法論としては新しいものではなく、例えば、1940 年代には既に White による詳細な報告[1)]が発表されている。被害関数は過去の洪水事例に基づいて経験的に導出されるべきものであり、かつ、対象とする地域の自然条件、住居様式、生活様式等を考慮してゆく必要がある。

我が国の場合、国土交通省旧河川局が 2005 年に発表した「治水経済調査マニュアル (案)」[2)]に家屋の被害関数 (浸水深別の家屋被害率) が記載されている。地盤面の勾配に応じて被害の程度が異なることを考慮して、地盤勾配別に 3 通りの被害関数が用意されている。家屋の階数に応じた被害率の補正方法も示されている。被害率を家屋の資産額に掛け算すれば被害額に換算できる。資産額は都道府県別に定められた単位面積当りの評価額に床面積を乗じて算出する。

他国の例として、米国連邦緊急事態管理庁 (FEMA) が米国内向けに開発・改良を続けている Hazus-MH Flood Model に類似の被害関数が採用されている。浸水深と被害率の関係を、建物の種類、階数、スキップフロアの有無、地階の有無等の細かな条件別に、或は地域や事例の別に多数提示している。Scawthorn et al. の解説[3)]によると 900 以上の関数が用意されているという。但し、ここでいう被害率は、被害額を家屋再建費用で割り算した値をさし、上述「治水経済調査マニュアル (案)」の被害率とは意味合いが異なる。

本研究ではメコン川下流域に適用可能な家屋被害関数を作成し検証する。そして、被害関数を用いた家屋被

害額広域分布推定について基本的な枠組みを提示する。

2. 方　法

2006 年及び 2011 年の洪水を対象に、氾濫水深分布の推定、家屋被害関数の作成、被害額の推定、という手順で作業を進める。氾濫水位・水深及び家屋の被害率・被害額を現地調査の結果と比較することにより検証する。

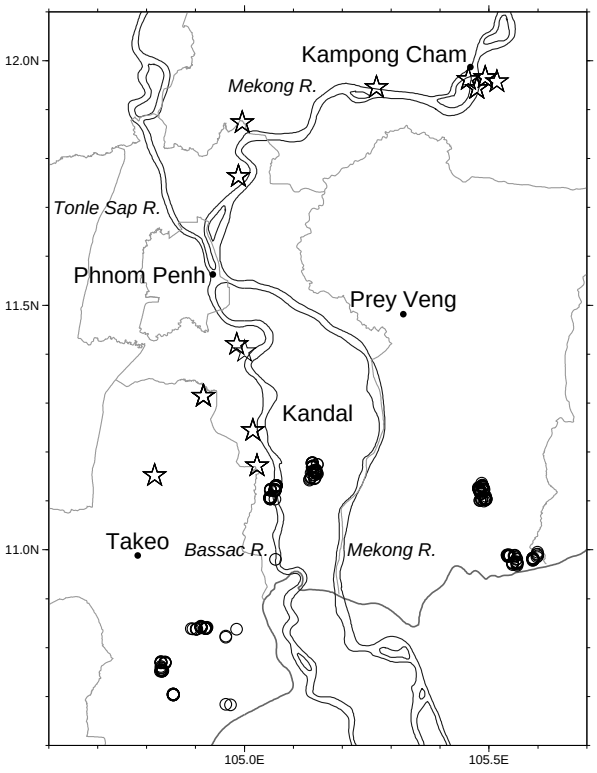
(1)　氾濫水深分布の推定

本研究では試行的に 2 通りの手法で氾濫水位分布を求め、地形データと組み合わせることにより氾濫水深に換算する。地形データは全球 3 秒格子の数値標高モデル SRTM3 の 2.1 版[4]を用いる。

1 つ目は、ICHARM Hydro-Geo Method (IHGM)[5]と名付けられた、メコン川下流域の農業水利形態を踏まえた手法である。この地域では、メコン川やバサック川の両岸に発達した自然堤防を開削して多数の水路を作成し、河道から後背湿地へと人工的に洪水を取り込むコルマタージュ(colmatage) と呼ばれる農業水利形態が広範囲に普及している。このため、河川水位がある程度まで高くなると後背湿地の氾濫水位とほぼ一致する様になる。これは、メコン川委員会により確認された観測事実であり、この現地実情に基づいて河川水位の観測値から最大氾濫水位を求める。

河川水位はカンボジア水資源気象省水文河川局の現業観測により 1 日 2 回現地時刻 (UTC + 7 時間) 7 時と 19 時に取得される値の平均を解析に用いた。**図–1** に示すカンポンチャム (Kampong Cham) 及びプノンペン (Phnom Penh = Chaktomuk) 水文観測所の値を用いた。高さの基準面はベトナム南部ハティエン (Ha Tien) の平均海面に統一した。両水文観測所にそれぞれ最も近い河道中心線上の点を始点・終点と定め、上流のカンポンチャムからほぼ 5 km 間隔で河道中心線上に点 (河道中心点と呼ぶ) を打ち、各点での毎日の水位を上下流端水位を線形内挿することにより求めた。対象領域に SRTM3 と同じ 3 秒間隔の格子を重ね、各格子点から 15 km 以内にある全ての河道中心点の水位を算術平均することで毎日の水位分布を求めた。最大水位から標高 (地盤高) を引き算して最大浸水深を求めた。上述の 15 km という数値に根拠はなく、コルマタージュの影響範囲の問題と計算量を減らす都合上、計算対象領域を限定した。

2 つ目の氾濫水位分布推定手法は、Terra/Aqua 衛星搭載センサ MODIS の観測から推定する方法である。



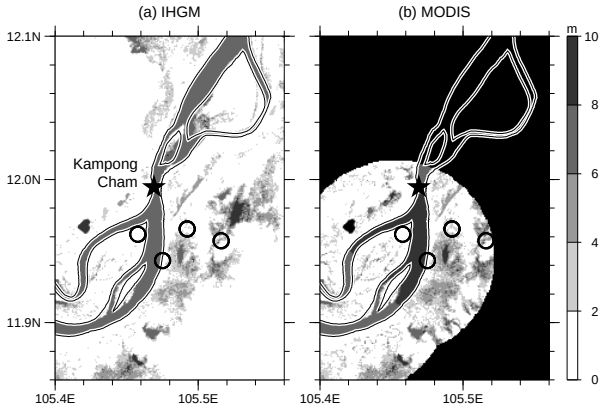
図–1　メコン川下流域。白抜きの丸は 2006 年洪水、白抜きの星印は 2011 年洪水の被害調査地点を示す。

Kwak et al. の手順[6]に従って求めた修正地表水指標 MLSWI と地形データと比較することにより氾濫水位分布を求める。地形データは同じく SRTM3 の 2.1 版を用いる。詳細は萬矢らの論文[7]に記述されているので参照されたい。この手法を以降 MODIS 法と呼ぶ。

(2)　家屋被害関数の作成と被害額の推定

メコン川委員会が 2006 年洪水を対象に実施した聞取り調査[8]、及び、水災害・リスクマネジメント国際センターが 2011 年洪水を対象に実施した聞取り調査及び測量の結果をもとに、家屋被害関数の導出を試みる。2006 年洪水の調査はカンボジア南部のタケオ州 (Takeo, 82 世帯)、カンダル州 (Kandal, 90 世帯)、プレイベン州 (Prey Veng, 90 世帯) の計 262 世帯 (**図–1** 白抜きの丸) に対して 2008 年 5–6 月に、2011 年洪水の調査はタケオ州 (15 世帯)、カンダル州 (20 世帯)、カンポンチャム州 (22 世帯) の計 57 世帯 (**図–1** 白抜き星印) に対して 2012 年 12 月に、それぞれ実施された。どちらも洪水直後ではなく 1 年以上時間が経った後の調査であることに注意する必要がある。

現地調査での聞取り項目は 2 回の調査でほぼ統一されている。主たる聞取り項目は、世帯人員及び構成、収入、家屋価値、床面積、氾濫水深、床上浸水深、被害



図–2 2 通りの手法により推定した最大氾濫水深分布。(a) IHGM の結果、(b) MODIS 法の結果。

額等である。2012 年の調査では、聞取り調査に加えて、高精度 GPS 測位 (NavCom Technology 社の受信機 SF-3050 を使用) 及び簡易レーザー測量 (Laser Technology 社の TruPulse を使用) により各家屋の地盤高と床高を計測した。

3. 結　果

(1)　氾濫水深分布推定の結果

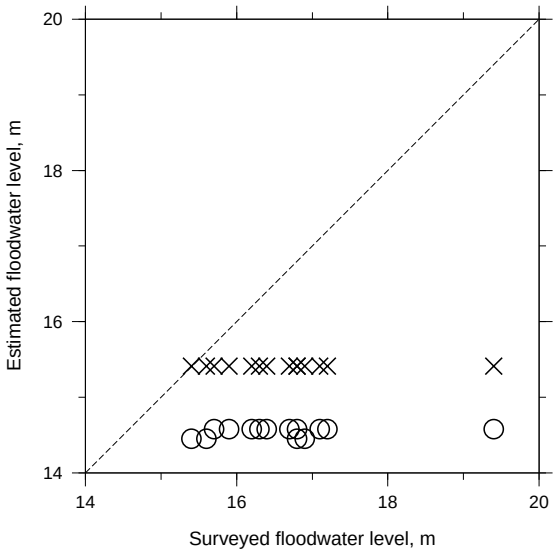
2011 年洪水についてカンポンチャム市周辺の最大氾濫水深分布を推定したところ、IHGM と MODIS 法の 2 つの手法間では結果にほとんど違いがなく、空間分布はよく一致している (**図–2**)。この推定結果が現地調査の結果とどのくらい整合するのか、氾濫水位、地盤高、氾濫水深の順を追って確認した。

a)　氾濫水位

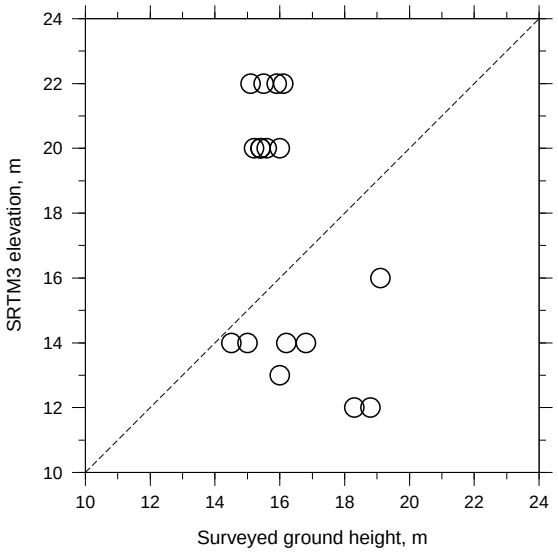
カンポンチャム市周辺の 4 集落 (**図–2** 丸印、計 14 家屋) で、現地調査に基づく氾濫水位 (地盤高と氾濫水深の和) と、IHGM 及び MODIS 法に基づく水位推定値を比較した (**図–3**)。現地調査に基づく氾濫水位と 2 通りの手法による水位推定値はいずれも一致しない。現地調査に基づく氾濫水位は 2 m 程度の幅をもつ (1 点のみ外れた値を示す) 一方、IHGM 及び MODIS 法に基づく水位推定値はいずれも集落間の違いはなくほぼ同じ値をとる。IHGM に基づく水位推定値が MODIS 法のそれよりも 1 m 程度小さな値をとる。

b)　地盤高

現地調査に基づく地盤高 (GPS 測位とレーザー測量の組合せにより精密に計測) と数値標高モデル SRTM3 の標高は一致しない (**図–4**)。



図–3 現地調査に基づく氾濫水位 (横軸) と 2 つの手法で推定した氾濫水位 (縦軸) の比較。丸が IHGM、バツが MODIS 法の結果。



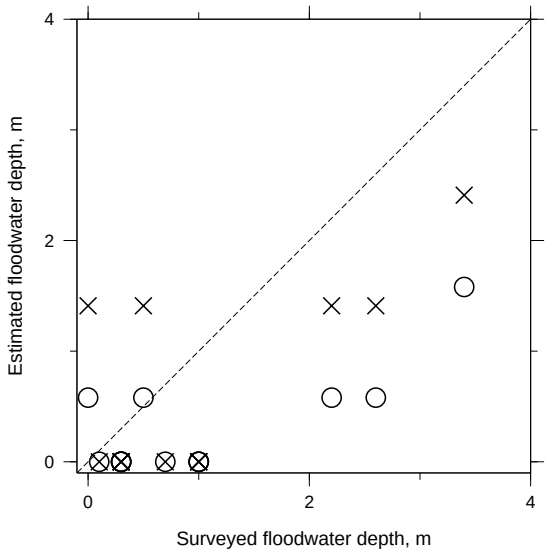
図–4 現地調査に基づく地盤高 (横軸) と数値標高モデル SRTM3 の標高 (縦軸) の比較。

c)　氾濫水深

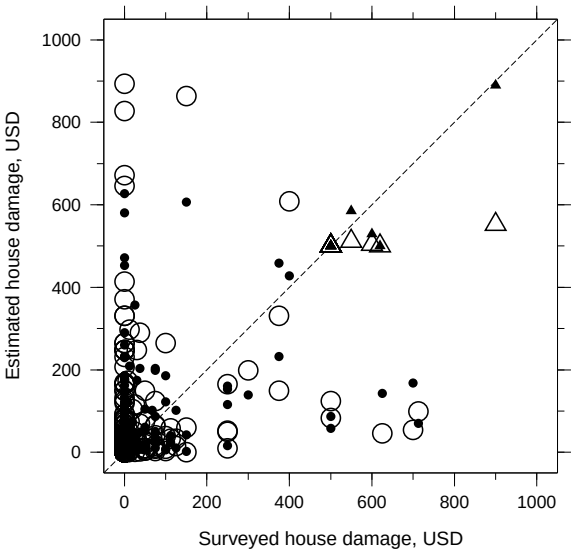
氾濫水位の推定値から SRTM3 の標高を引き算して求めた氾濫水深も、氾濫水位の比較結果と同様に、2 通りの手法ともに現地調査に基づく氾濫水深との対応がよくない (**図–5**)。

(2)　家屋被害額の推定結果

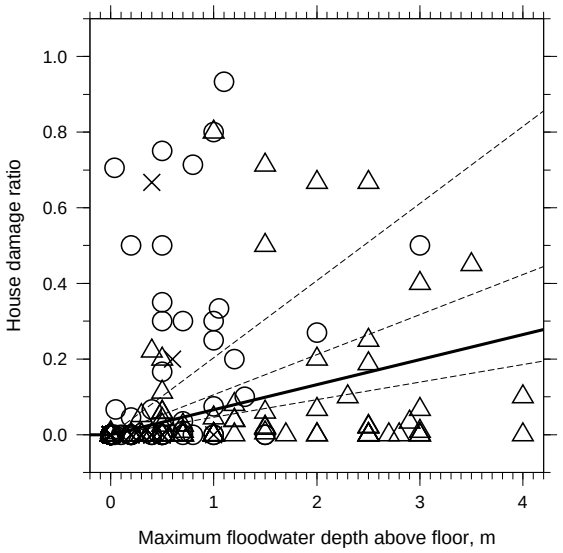
2006 年洪水について、3 つの地域別に最大床上浸水深と家屋被害率の関係を調べた (**図–6**)。プレイベン州では大半の家屋で床上浸水深は 1 m 以下であり、床上浸水しても殆ど被害が生じていない。タケオ州でも大



図–5 現地調査に基づく氾濫水深 (横軸) と 2 つの手法で推定した氾濫水深 (縦軸) の比較。丸が IHGM、バツが MODIS 法の結果。



図–7 家屋被害額 (横軸) と推定被害額 (縦軸) の比較。



図–6 最大床上浸水深 (横軸) と家屋被害率 (縦軸) の関係。2006 年洪水に関する現地調査の結果。丸はタケオ州、三角はカンダル州、バツはプレイベン州を示す。破線は地域別、実線は全域のデータに対する線形回帰により得られた被害関数を示す。

半の家屋で床上浸水深は 1 m 以下であるものの、被害率は他の州よりも明らかに大きい。カンダル州では床上浸水深は最大で 4 m に達するが、被害率はタケオ州に比べて小さな値をとる傾向にある。すなわち、2006 年洪水の現地調査結果に基づけば、床上浸水深と被害率の関係には明瞭な地域性が認められる。

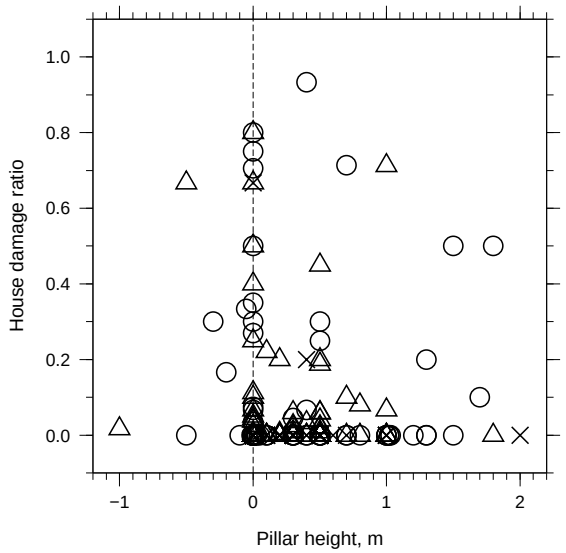
図–7 に現地調査に基づく家屋被害額と推定値の比較を示す。2006 年の洪水について、3 地域全家屋の情報から 1 つの被害関数を求めて全域に適用した場合 (白丸) と、南部の 3 つの地域別に求めた被害関数をそれぞれ各地域に適用した場合 (黒丸) とでは、地域別に被害関数を求めて個別に適用する方が被害額推定値の誤差は小さい。二乗平均平方根誤差でみて前者は 154 米ドル、後者は 124 米ドルである。

2011 年の洪水についても、カンポンチャムの 14 の家屋に対して、上述の白丸と同様の被害関数を適用した場合 (白三角) と、事例 (2011 年洪水)・地域 (カンポンチャム) に固有の被害関数を求めて適用した場合 (黒三角) とでは、後者のほうが実測に近い被害額を推定している。

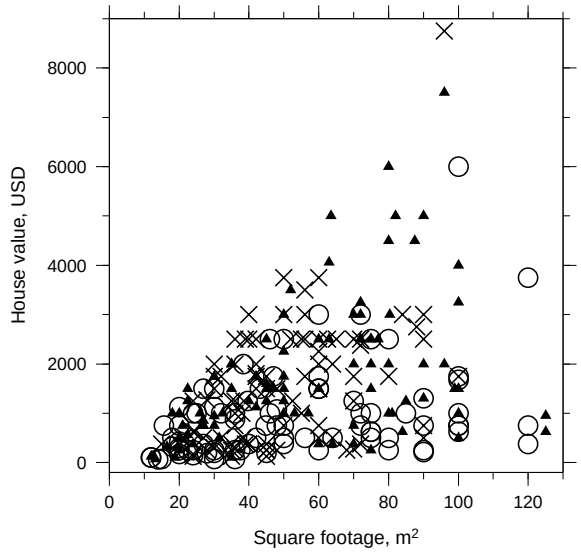
4. 考 察

結果 (1) を踏まえると、家屋被害推定に必要な正確な氾濫水深分布を得るためには、氾濫水位分布の推定手法と地形データの両方の精度向上が必要である。仮にどちらか一方だけ高精度であっても、もう一方の精度が悪いと、結局のところ、氾濫水深分布の推定精度も低下することは自明である。

結果 (2) は、例えば本論文の冒頭で紹介した FEMA の様に、家屋被害額の推定において地域や住居様式に応じて被害関数を複数用意しそれらを使い分ける必要性を示唆するものである。高床式住居はメコン川下流域で広く認められる住居様式であり、2006 年洪水の現地調査結果を整理すると、床高が高いほど家屋の被害率が小さい傾向がどの地域でも共通して見て取れる (**図–8**)。すなわち、家屋床高を考慮した洪水被害の検討が重要である。



図–8 家屋の床高 (横軸) と被害率 (縦軸) の関係。2006 年洪水に関する現地調査の結果。丸はタケオ州、三角はカンダル州、バツはプレイベン州を示す。



図–9 家屋の床面積 (横軸) と資産価値 (縦軸) の関係。2006 年洪水に関する現地調査の結果。白丸はタケオ州、黒三角はカンダル州、バツはプレイベン州を示す。

同じく 2006 年洪水の現地調査結果を整理すると、家屋の床面積が大きいほど資産価値が高い傾向が見て取れる (**図–9**)。床面積の平方根が 4–11 m 程度であることから、概略 4 m よりも高分解能の衛星画像や航空写真等を活用すれば、この地域の家屋の位置や床面積を計測することができ、家屋の床面積から資産価値を推定することも可能であると考える。家屋の資産価値の正確な推定値は、家屋の被害率を被害額に換算するために必要な情報であり、その精度が悪いと、たとえ家屋の被害率を正確に求めることができたとしても、被害額に換算することは難しくなる。衛星画像や航空写真から読み取った情報の確からしさは現地調査で確認する必要がある。家屋の位置や床面積の情報を十分に蓄積できれば、センサス資料、地形データやその他地理空間情報等と照合することで、家屋の地理分布についても統計学的に上手く推定することも可能であると考える。空間情報科学の分野でよくみられる非集計化 (センサス資料などの集計済み情報を集計前の詳細情報に復元) の技法が参考になる。

本研究の結果は、標本数の十分でない統計に依るものであり、かつ、対象とする洪水の後、一年以上経過してからの聞取り調査の結果に基づくため、一程度の不確かさがどうしても残る。これまでの現地調査では、家屋被害関数導出には必要としない項目も含めて約 50 項目の聞取りが実施された。標本数を少しでも増やして解析結果の統計学的確からしさを確保するためには、現地調査での聞取り項目を厳選して数を減らし、ひと世帯に費やす時間をできるだけ短くするなどの工夫が必要である。質問項目を少なくすれば回答者の負担を軽減でき、その結果より正確な情報を得ることができるはずである。また、回答者の記憶が確かな間に、即ち、洪水直後に聞取り調査を素早く実施することも重要である。

5. まとめ

家屋洪水被害額を推定するために、2011 年洪水を対象に、2 通りの手法で氾濫水深分布を求めて現地聞取り調査の結果と比較し検証した。氾濫水深としても、水深に換算する前の氾濫水位と地盤高 (標高) としても、共に現地調査の結果との良い一致を見出すことはできなかった。

家屋被害関数については、2006 年と 2011 年の洪水を対象に、現地聞取り調査の結果と比較し検証した。全域に 1 つの関数を適用するよりも、地域ごとに関数を作成して個別に適用する方が、被害額推定値の誤差は小さいことが判った。

謝辞: メコン川委員会から水位データを提供していただいた。本研究の一部は文部科学省 気候変動リスク情報創生プログラム「課題対応型の精密な影響評価」(代表: 中北 英一) の支援を受けて実施された。ここに記して謝意を表する。

参考文献

1) White, G. F.: *Human Adjustment to Floods.* Research Paper No. 29, Department of Geography, University

of Chicago, 1945.
2) 国土交通省河川局: 治水経済調査マニュアル (案), 2005.
3) Scawthorn, C. et al.: HAZUS-MH flood loss estimation methodology: II. Damage and loss assessment, *Natural Hazards Review*, Vol. 7, No. 2, pp. 72–81, 2006.
4) Farr, T. G. et al.: The Shuttle Radar Topography Mission. *Rev. Geophys.*, Vol. 45, RG2004, 2007.
5) Shrestha, B. B. et al.: Development of flood vulnerability indices for Lower Mekong Basin in Cambodian floodplain, *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 69, No. 4, pp. I_1–I_6, 2013.
6) Kwak, Y. et al.: Estimation of flood volume in Chao Phraya River basin, Thailand, from MODIS images couppled with flood inundation level, *Proceedings of IGARSS 2012*, pp. 887–890, 2012.
7) 萬矢ら: 人工衛星データ及び現地計測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, Vol. 19, 登載予定.
8) MRC Secretariat: *Flood Damages, Benefits and Flood Risk in Focal Areas*, 2009.

(2013.4.4 受付)