

洪水規模の違いによる便益の地域差に関する研究 ～メコン河プノンペン周辺における事例解析～

THE REGIONAL DIFFERENCE OF THE BENEFIT WITH THE FLOOD MAGNITUDE CHANGE

～ CASE STUDY IN THE GREATER PHNOM PENH OF THE MEKONG RIVER ～

垣内 健吾¹・風間 聡²・沢本 正樹³

Kengo KAKIUCHI, So KAZAMA, Masaki SAWAMOTO

¹学生員 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06)

²正会員 博士(工学) 東北大学大学院環境科学研究科環境科学専攻 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 04)

³フェロー 工博 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06)

This paper shows spatial distribution of merits and demerits of flood in the Mekong Basin. Firstly, the flood and inundation surrounding Phnom Penh, Cambodia in 2000 (the large flood) and 1994 (the normal flood), was simulated. Secondly, the benefits of the flood were calculated, combining the unit price of primary industry (agriculture and fishery) and the result of the flood simulation. As a result, the large flood gives high productivity of rice along rivers because it flowed out nutrition a lot. It also expanded fish product area in the flood plain. Therefore, agriculture and fishery obtained higher benefits in 2000 than 1994. The spatio-temporal benefits and damages were constructed.

Key words: Colmatage, unit price, flood simulation, GIS, damage

1. はじめに

2000年のメコン河洪水氾濫では、カンボジア国内だけで20万人近い人が避難し犠牲者は約400人にも上った。その他犠牲者はベトナムで200人近く、タイとラオスでは50人近く報告されている。この洪水の規模は既往最大のものに近いとされている。

この洪水に対し、土木学会から調査団が派遣され、現地調査と情報収集が行われた¹⁾。その報告書の中では、洪水氾濫に対する都市部と地方の認識の差が指摘された。都市域では流通や教育の停滞からその被害の深刻さが指摘されていたが、地方部では自然と受け止め、生産の場として洪水を利用していた。元来洪水は負のイメージであるが、近年、正の部分も着目されつつある。特にメコン河の場合、洪水の規模と水産資源の相関は高く²⁾、氾濫水が引いた後には肥沃な土壌が残る。洪水は肥沃な土壌と水産資源をもたらすものであり、居住者は洪水に対する危機意識が低い。

こうした問題を包括的に論じるために、教育や産業の評価が定量的に扱われる必要があり、かつ相互比較できるものである必要がある。そこで、風間ら³⁾は洪水の変動に伴う影響を価格価値に置き換える便益手法を導入し

て洪水氾濫を総合的に評価することを試みている。

洪水に対する便益計算は国内ですでに多くの事例があり、治水経済調査マニュアルとして作成されている⁴⁾。また、カンボジア政府は2000年洪水による被害額を報告している⁵⁾。こうした報告書では、便益や損害が対象地域内において一括で計算され、州スケールでの算定はなされているが、それでは局所的な把握ができない。また、カンボジアにおいては、被害時期に関しても不明瞭な点が多く、時系列での考察が行えない。

本研究では、まずメコン河、バサック川およびトンレサップ川の洪水氾濫シミュレーションを1kmメッシュ区画で行った。その結果として、時系列かつ分布的に水位が得られる。時空間を考慮したこの結果は、メッシュ区画の便益計算を行うのに適したものだといえる。一般的な規模の洪水であった1994年と大洪水の起きた2000年を対象としてプノンペン周辺の洪水氾濫の数値計算を行い、その結果に便益の原単位³⁾を組み合わせることから氾濫による影響を定量化した。

メコン河下流域の氾濫の規模は大きく、コスト面からも効果的な治水事業が望まれる。氾濫の与える各影響をメッシュ区画に同じ指標である便益で評価することで、洪水氾濫の生かすべき箇所と防ぐ必要のある地域の理解が可能になると考えられる。上で述べた評価法は開発政

深を表している。 q は横流入量(m^2/s)であり、他の川からの流入や、雨による流入が該当する。流出する場合は符号が逆になる。

(2) 氾濫流計算

氾濫原の計算には二次元不定流モデルを用いた。本モデルは本対象領域のように勾配の緩い地形に適しており、河道から溢れた水が氾濫原を二次元的に広がっていく様子を計算するものである。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = q \quad (3)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 M \sqrt{M^2 + N^2}}{h^{7/3}} \quad (4)$$
$$\frac{\partial N}{\partial t} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 N \sqrt{M^2 + N^2}}{h^{7/3}} \quad (5)$$

ここで, M , N は東西方向, 南北方向の流量フラックス (m^2/s)を表し, $M=uh$, $N=vh$ である. q は鉛直方向の流入量 (m/s)で, 降雨や蒸発が該当する.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial s} - q = 0 \quad (1)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{2g} \frac{\partial v^2}{\partial s} + \frac{\partial H}{\partial s} + \frac{n^2 |v| v}{h^{4/3}} = 0 \quad (2)$$

ここで、 A ：断面積(m^2)、 Q ：流量(m^3/s)、 s ：流下方向の座標、 g ：重力加速度、 v ：流速(m/s)、 H ：基準面からの水位(=水深+河床高)、 n ：マンニングの粗度係数、 h ：水

式(4), (5)は本来移流を表す非線形項を含んでいるが、流れの変化が緩い場合にはこの項の影響は小さいことが知られている。また、計算が長く複雑になることと、本研究の目的が局所的な氾濫流の到達時間や浸水深の厳密な解析ではなく、氾濫域のおおよその範囲を求めることにあるため、非線形項は省略した。

(3) 越流計算

本研究の対象流域ではコルマタージュ(写真 1)と呼ばれる灌漑方法が行われており、堤防の一部を開き、洪水を氾濫原に引き入れて農業用水として用いている。堤防の開かれた箇所を参考に氾濫原へ越水する流量は、次の越流公式を用いて求める。

完全越流の場合

$$Q = 0.35 B h_1 \sqrt{2 g h_1} \quad (6)$$

もぐり越流の場合

$$Q = 0.95 B h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (7)$$

ここで、 B は越水幅で、越水部において敷高からみて高いほうの水深が h_1 、低いほうの水深が h_2 である。

このモデルで得られた越流量は、隣接する氾濫原への流入となり、氾濫計算に加えられると同時に、洪水計算の連続式における横流出量となる。

図2は、これらの計算方法を用いて2000年と1994年

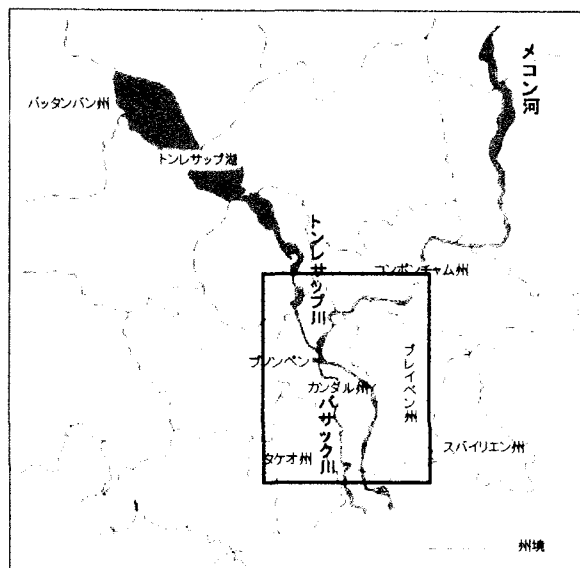


図-1 評価対象地域 (枠内)

の8月1日での水深をシミュレートしたものである。氾濫面積に大きな差があることをよく示している。

(4) SS 沈降量の計算

SS データと Rubey の実験式から得た沈降速度、不定流式の流量フラックスから氾濫原への SS 沈降量を求め、この値から栄養塩量を推定した。

Rubey の実験式は次式である。

$$w_f = \sqrt{sgd} \left\{ \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36v^2}{sgd^3}} - \sqrt{\frac{36v^2}{sgd^3}} \right\} \quad (8)$$

ここで、 w_f : 浮遊砂の沈降速度(m/s), v : 水の動粘性係数= 1.0×10^{-6} (m^2/s), s : 砂粒の水中比重, d : 粒径(m)を表している。

また、プノンペンのバサック川沿いで採取した砂で試験を行った。その結果、砂粒の水中比重は1.667, 粒径は図3のように求められた。通過百分率20%, 50%, 80%



写真-1 コルマタージュからの導水

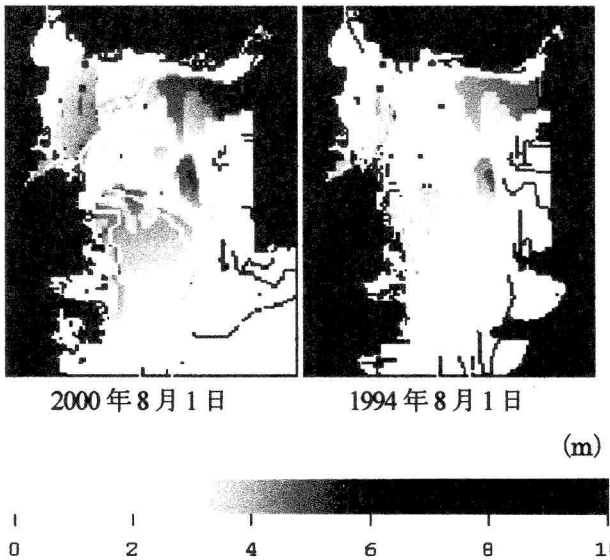


図-2 氾濫面積と水深の比較

において沈降速度を求め、 Δt ごとの沈降量を計算し、それを積算して、沈降量の総量を算出した。

表1は、2000年と1994年の堆砂面積を表したものである。粒径が大きいほど遠くまで広がらず、川沿いに堆積することが分かる。比較的粒度の荒い泥はメコン河本流やバサック川の河岸に沈殿し自然堤防を形成するため、後背湿地には粒度の細かい粘土分を多く含んだものが沈殿する⁹⁾。したがって、本研究では、粒径が小さい通過百分率80%のSS沈降量を栄養塩量の指標として用いた。

図4は通過百分率80%でのSS沈降量である。2000年の氾濫原の方が多くの栄養塩を得ていることが分かる。

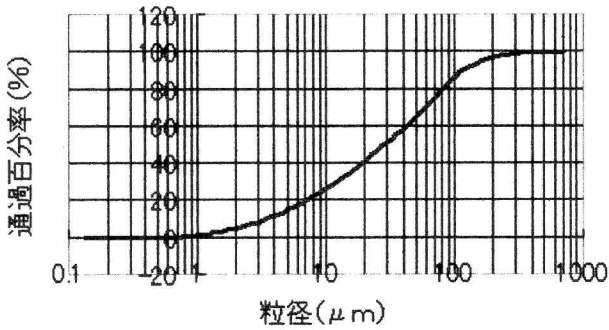


図-3 メコン河における浮遊砂の粒度分布

表-1 2000年と1994年における粒径と堆砂面積の比較

	粒径 (μm)	2000 年の 堆砂面積 (km ²)	1994 年の 堆砂面積 (km ²)
通過百分率 20%	81.0	2351	2016
通過百分率 50%	28.0	5015	3991
通過百分率 80%	7.1	7739	6869

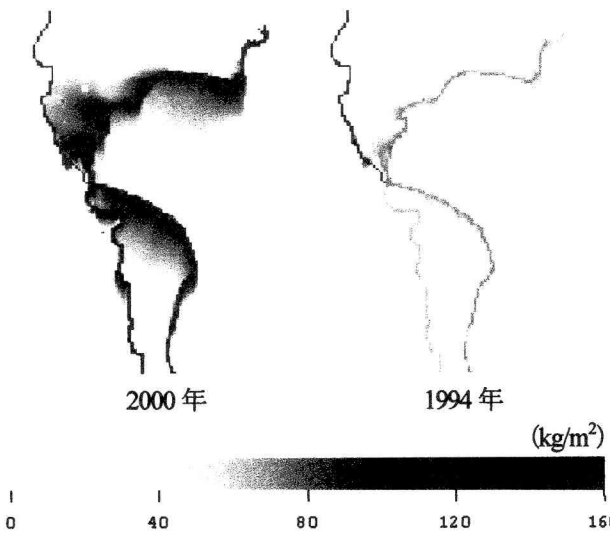


図-4 通過百分率80%粒径でのSS沈降量

4. 漁業への影響

一般に、雨季の訪れと共に魚の遡上・産卵が本格化する⁷⁾と言われる。冠水する間に、氾濫原で魚が産卵することにより便益が生じる。

本研究では、雨季初期の5月から7月(約90日間)が産卵期であるとした。洪水氾濫計算より、2000年と1994年で、産卵期中での湛水継続期間(冠水している日数)ごとに氾濫面積を求めた結果、図5のようになった。

また、対象地域内での魚類の約42%は鯉科である⁸⁾。鯉科は産卵期に2,3回産卵すると言われる。鯉科の産卵周期が約20日であることから、20日以内の湛水継続期間では産卵は行えないものと仮定し、水産業の便益を0円とした。

風間らによると、水産物の原単位は1年当たり1,200,000円/km²である³⁾。この原単位は、氾濫原の単位面積あたりの平均便益である。よって、この原単位と図5から、次式を用いて、1日あたりの湛水で得られる便益を求められる。

$$\frac{\sum_{n=21}^{90} \{x \times (n-20) \times A_n\}}{\sum_{n=21}^{90} A_n} = 1200000 \quad (9)$$

ここで、 x :1日湛水便益(円)、 n :湛水継続期間(日)、 A_n :湛水継続期間が n (日)のときの氾濫面積(km²)である。

この式から x を求めると、2000年が98000円に対して1994年は82000円と低くなった。理由としては、図5から得られた21~25日の湛水継続期間での氾濫面積に大きな差があることが挙げられる。図6は、 x と湛水継続期間を乗算し、メッシュ区画で漁業の便益計算をしたものである。漁業においては2000年の便益のほうが大きくなるという結果を得た(表2)。

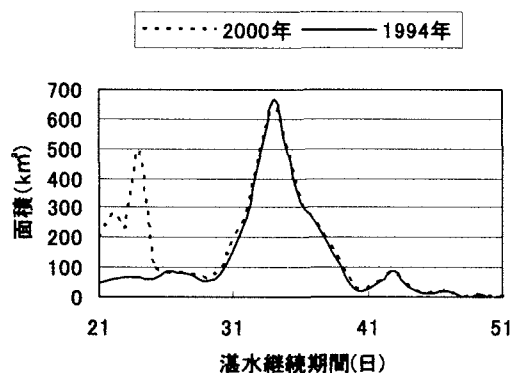


図-5 産卵期中の湛水継続期間に対する氾濫面積

5. 農業への影響

(1) 便益計算

氾濫水を利用する農業とは、一般的に第2期農業(11月~1月)のことである。氾濫による栄養塩と水を利用して高収穫米を栽培する。本研究では、氾濫水の確保が可能である総氾濫域で水田が可能であるとした。

次に、肥料と考えられる窒素堆積量と収量の関係を線形と仮定した。高収穫米の最適窒素量を0.014kg/m²以上とし⁹⁾、その地域での便益を4,968,000円³⁾とした。この数値は、高収穫米の原単位である。一方で、沈降量が0kg/m²である場合は、栄養塩の提供がないものとし、便益には、最も収穫量が低いとされる浮稻の原単位を用いた。

SSに付着する窒素量は、メコン河委員会のデータ⁵⁾より求めた結果、SS沈降量の200分の1とし、これは片山の日本での研究から得た値¹⁰⁾とほぼ同じである。最適窒素量を上回る栄養塩が得られる地域は最大便益であるという仮定のもと、便益計算を行った。

図7は2000年および1994年の農業の便益計算をしたものである。農業の便益は河沿いが高くなり、遠ざかるにつれて減少する。栄養塩の多くが河沿いに沈降するためである。農業においては、1994年よりも大洪水が起こった2000年の便益が大きくなるという結果を得た(表2)。

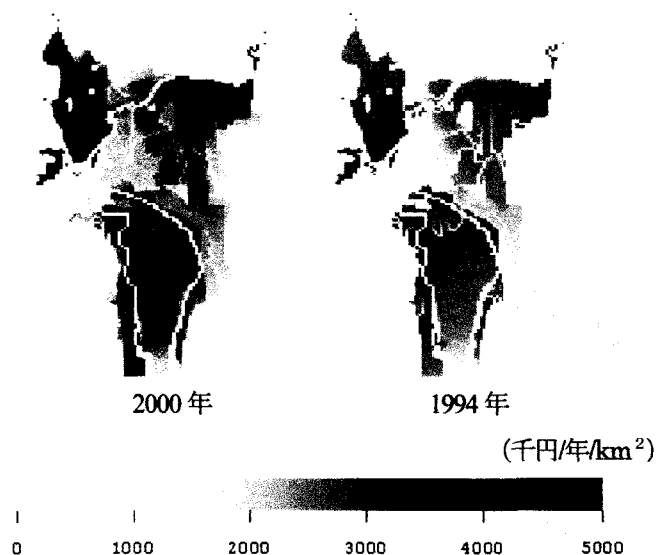


図-6 一年当たりの漁業の便益

表-2 評価対象地域での便益と損害

	第1期農業の便益	漁業の便益	第2期農業の損害
2000年	383.5億円	199.9億円	108.6億円
1994年	351.7億円	139.3億円	-

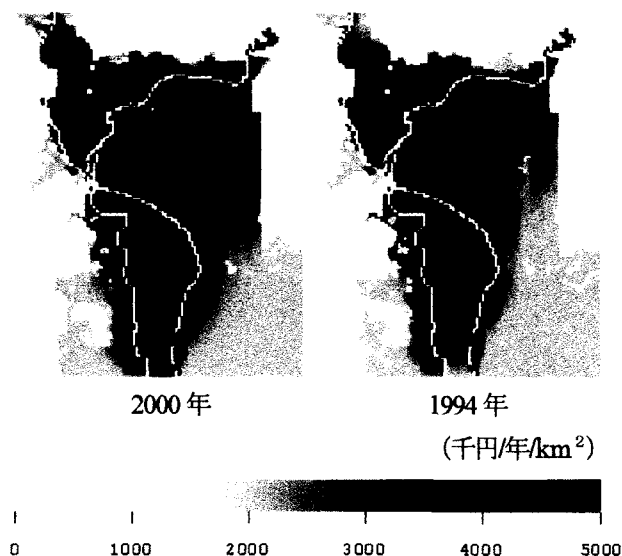


図-7 一年当たりの農業の便益

(2) 損害計算

雨季は5月頃から始まる。その降雨を利用して栽培される第1期農業(6月～8月)は、2000年に大不作に陥った。その要因として、例年よりもはるかに早く洪水が発生したことが挙げられている。収穫前に氾濫が来た高収米地帯では多大な損害を受けた。本研究では、収穫前8月1日の1994年と2000年の洪水氾濫を比較することで高収米の損害を示した。

図2より2000年と1994年の8月1日の氾濫状況を比較すると、氾濫面積は1994年が7019km²に対して2000年が8953km²と約1.3倍大きい。また全般的に2000年の水位の方が高い。大洪水が起きた理由としては、中・上流域で例年よりも早く雨季が始まったことが挙げられる¹⁾。

高収米は浅水に保たれる所で栽培される¹¹⁾。1994年では冠水しない地域で、2000年の洪水で収穫前に30cm以上氾濫した地域では損害を受けたとしている。

6. 考察

(1) 栄養塩について

図4において、河から遠ざかるにつれて、SS沈降量が減少するのは明白なことである。しかしながら、河から遠いはずのプレイベン上部付近で多くの栄養塩量が堆積しているという計算結果が得られた。理由としては、この地域では早くに氾濫し、また氾濫するときの流量が多いために、湛水継続期間が長くなることがあげられる。特に、2000年の結果では、コンボンチャム州からプレイベン州(図1)にかけて、広範囲にわたって栄養塩が供給されていることが分かる。



黒色-0, 白色-4980(河道は除く)

(千円/年/km²)

図-8 2000年における農業の損害額

(2) 漁業について

図5より、湛水継続期間が21日～25日である氾濫面積の差が大きい。このことが、2000年と1994年での便益の大きな差となっていると考えられる。

一方で、湛水継続期間が25日以後の氾濫面積では、2000年と1994年は良く酷似している。このことから、大洪水が起きることに対して、あまり影響を受けない地域が広く存在することも、この結果から理解できる。

図6では、プレイベン州やタケオ州といった、川から離れた地点での便益に大きな差が現れた。そのような地域は、湛水継続期間が21日～25日となる氾濫地域であり、大洪水が起きない限りは魚が産卵を行うことが出来ない地域だとも言える。

対象地域内での魚の生態については未知な点が多い。したがって、今回は魚の生息・産卵条件に、浸水深との関係は加えなかった。

(3) 農業について

図7において、プレイベン州上部およびカンダル州下部で、2000年が高い便益を得た。理由としては、コンボンチャム州からプレイベン州にかけての栄養塩量の差が、そのまま便益にも顕著に現れていることが挙げられる。また、総氾濫面積は1994年が9111km²に対して2000年が9447km²で約1.04倍となった。このことから、農業可能面積が大きいことも、2000年の方の便益の高くなった要因と言える。

栄養塩の履歴について、今回は考慮しなかった。もし考慮すれば、年々の堆積が、次年に影響を与えるため、違った結果が得られるかもしれない。しかしながら、今回は2000年と1994年をシミュレートし、対象年が離れているため考慮する必要はないと考えた。

堀はメコン河の氾濫について、大きな便益をもたらす

ものではないと述べている⁹⁾。しかし、この数値結果を見ると地域間で差があり、必ずしも氾濫が肥沃化に寄与していないとは言いがたい。この問題については、現地観測等によって明らかにする予定である。

(4) 対象地域での便益と損害について

表2は、計算対象地域で2000年と1994年の便益を比較し、さらに2000年の損害額を示したものである。この結果から、大洪水により増加した2000年の便益は、第2期農業の損害を補うほどに高いことがわかる。つまり、大洪水は、現時点で正の価値を増幅し、その一方で負の価値を生じさせる対極な性質を持った存在であるといえる。

しかしながら、2000年の大洪水は、通常よりも早期にモンスーンが到来し、中・上流域で例年よりも早く雨季が始まったことが原因とされている¹⁾。よって、その情報を活用することで、今後起こりうる大洪水に対しての開発マニュアルが作成されれば、2000年のような大損害は生じることなく、大洪水の利点だけが強調される結果に代わると考えられる。

(5) 現地との比較

図8で示した2000年第2期農業の損害シミュレーションについて、現地の考察と比較する。土木学会報告書¹⁾によると、農業関連は、プレイベン州、タケオ州、バットアンバン州で被害を被ったとしている。バットアンバン州は計算対象地域外であるが、メコン河下流域の左岸であるプレイベン州で被害が生じたことは、本研究のシミュレーションからも理解できる。しかし、シミュレーションではスバイリエン州やコンボンチャム州で多大な損害が生じているが、そのような報告はない。また、メコン河とバサック川に挟まれた地域では、計算結果によると農業・漁業ともに便益は高い。しかし、実際には人はあまり住んでおらず便益は小さい。これは、氾濫期間が長いことと冠水時の水位が高すぎることに由来している。

検証した結果、シミュレーションと実地情報とが異なる理由として、USGSの標高データでは表せないほどの小さな土地の起伏もしくは特徴を利用して居住するケースが多いことや人口分布を表す正確なデータが存在しないことが挙げられる。

しかし、本研究のシミュレーションと、実際の収穫量および土地利用を表現させることを今回は目的とはしていない。本研究で重要な点は、各メッシュにおけるポテンシャル、つまり農業および漁業の潜在能力を氾濫面積、湛水継続期間および栄養塩指標を用いて表したことである。メッシュ区画で比較することを可能とした上で、今後、他産業を含めた比較を行うことが出来る。

7. まとめ

本研究では、2000年と1994年の洪水氾濫を精度良く比較し、便益と損害を定量化することが出来た。

洪水を制御すれば、氾濫水、土砂や栄養塩が自然に供給されるというメリットを失い、設備や肥料などの高いコストを要する。また、氾濫原での水産業の便益は減少する。したがって、洪水の価値は正であると言える。しかし、ここで得られた結論は農業と水産業に限られたもので、今後は現地調査と解析によって工業、教育や衛生等の効果を検討したより総合的な評価が必要であると考えられる。

謝辞：本研究を遂行するに際しては、科研費(若手B、代表：風間聡)の研究助成をいただいたことを付記し謝意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会水理委員会：メコン河洪水氾濫調査 2000年11月，84pp， 2001.
- 2) Baran,E.,N.V.Zalinge and N.P.Bun,Floods,floodplains and fish production in the Mekong Basin:Present and past trend,Proc.Asian Wetlands Symp,pp.1-11,2001.
- 3) 風間 聡，森杉壽芳，沢本正樹：便益計算を用いたメコン河洪水氾濫総合評価の試み，水工学論文集，第47巻，pp367-372，2003.
- 4) 建設省河川局：治水経済調査マニュアル，81pp,2000.
- 5) Mekong River Commission， LOWER MEKONG HYDROLOGIC YEARBOOK 1994.
- 6) 堀博，メコン河 開発と環境，古今書院，1996.
- 7) Mekong Watch Japan：http://www.mekongwatch.org/
- 8) Puy Lim, Sovan Lek, Seang Tana Touch, Sam-Onn Mao and Borin Chhouk：Diversity and spatial distribution of freshwater fish in Great Lake and Tonle Sap river (Cambodia, Southeast Asia), Aquatic Living Resources, Volume 12, Issue 6, pp379-386, 1999
- 9) (財)矢野恒太記念会編集，世界国勢図会，国勢社，1999.
- 10) 片山精一郎，風間聡，蘇保林，沢本正樹：釜房ダム流域における栄養塩の流出，水工学論文集，第46巻，pp223-228，2002.
- 11) 山田 登，東南アジアの稲作，農政研究センター，1978.

(2003.9.30 受付)