

メコン河の洪水・氾濫による地下水涵養に関する研究

Study on Groundwater Charge by Flood and Inundation in the Mekong River

研究代表者 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 助教授 風間 聡
So Kazama, Associate Professor,
Department of Civil Engineering, Tohoku University

概要

熱帯モンスーン域の洪水氾濫は地下水の涵養を行い、この水は乾季に貴重な水資源となる。このメカニズムと量を把握するため、数値モデルの構築を行い、上流開発による地下水に与える影響を評価した。数値モデルは河道の洪水流モデル、氾濫原の氾濫モデル、地下水涵養モデルと地下水動態モデルで構成される。洪水流はメコン委員会が観測している水位を、氾濫モデルは衛星画像によってモデルパラメータを検証した。地下水モデルは氾濫モデルと連結して計算され、観測地下水位と比較した結果、良い一致を見た。このモデルにより上流開発が行われた場合を想定した計算結果から、上流での貯留により水が効果的に利用できること、但しカンボジア東部では氾濫水の利用が出来なくなること、住民の生活を支えるだけの水資源は十分にあることが理解された。

Abstract

Floods and inundation are regular events in the Lower Mekong basin. The large inundation area has some merits such as irrigation and ground water supply. Flood control may influence water resources in the Lower Mekong basin. A numerical simulation was carried out to estimate the effect of flood control in the inundation area and ground water. The results show the decrease of agricultural land and ground water for flood control. Although stored water can make up for those lack of water, more comprehensive study is necessary to evaluate the effect of inundation.

1. はじめに

メコン河は毎年雨季に洪水が起こり、下流域では大規模な氾濫が生じる。氾濫は災害に繋がる一方で、いくつかのメリットを有している。カンボジアでは氾濫を利用した農業が行われている。また、広範囲の氾濫域は地下水の涵養にも役立っていると考えられている。本地域では近年地下水資源の開発が進められているが、地下水の使用が涵養量を上回った場合、地下水位の低下が予想される。

これまでもメコン河流域の洪水氾濫に関する研究は数多くなされてきたものの、洪水制御を行うことで氾濫域にどのような影響が及ぶかということについては研究が進んでいない。氾濫域の減少は、耕作地、地下水涵養量の制限を招く可能性があるため、将来の流域開発を考える上で、洪水制御の効果は注意深く検討されなければならない問題である。本研究は流域開発によって、洪水氾濫が制御された場合の、周辺環境に与えられる影響を水資源の観点から評価することを目的としている。

2. 対象領域

本研究の対象流域は、メコン河の下流域にあるカンボ

ジアの一部である。対象流域内にはカンボジアの首都プノンペンがあり、この地点でメコン河はトンレサップ川、バサック川と分合流している。これらの川がプノンペン周辺で複雑な流れを形成している(図1)。対象領域内にはメコン河とその支流の氾濫原が広がっている。本地域への流入はメコン河から 82.3%、トンレサップ川から 7.1%、降雨が 10.6%である²⁾。

3. 計算方法

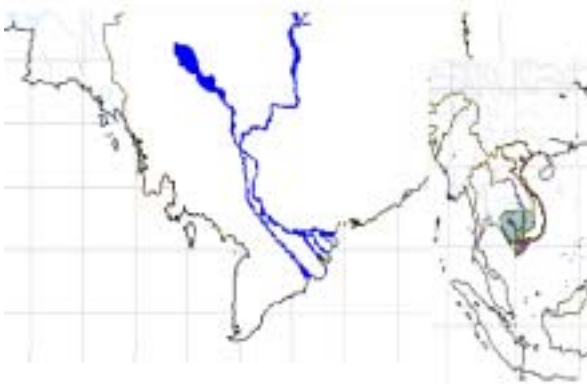
(1)洪水計算

洪水流は流下方向の一次元の流れである。Dynamic wave モデルを用いた。

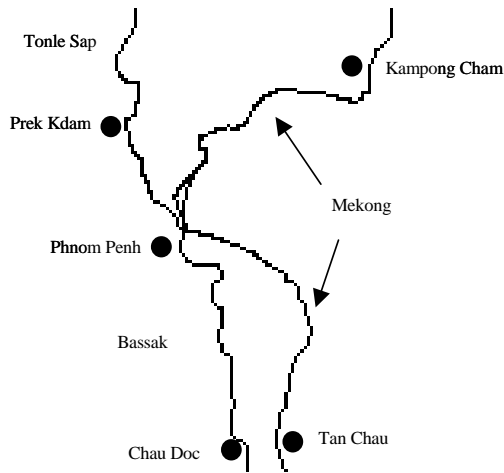
$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial s} - q = 0 \quad (1)$$

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

ここで A :断面積(m²)、 Q :流量(m³/s)、 q :横流出量(m²/s)、 s :流下方向の座標、 g :重力加速度、 v :流速(m/s)、 H :



(a) メコン河下流域



(b) 解析対象

図1 対象領域

基準面からの水位 (=水深+河床高), n : マニングの粗度係数, h : 水深を表している.

(2) 氾濫流計算

河川から溢れた水は, 二次元の不定流モデルを用いて計算した.

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

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

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

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.

川道から溢れる流量は越流公式を用いた.

(3) 地下水計算

地下水位の変動は以下の連続式とダルシー則から求め

た. この地下水モデルは飽和領域の水収支に注目したものであり, 不飽和領域については省略してある簡易的なモデルである.

$$n \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = q \quad (6)$$

$$u = k \frac{\partial h}{\partial x}, \quad v = k \frac{\partial h}{\partial y} \quad (7)$$

ここで, n : 間隙率, h : 地下水位(m), u, v : 東西方向, 南北方向の流速(m/s), q : 地下水涵養量(m/s), k : 飽和透水係数(m/s)である. 地下水涵養量については地表面からの浸透量をそのまま用いた. また, 地表面が浸水していない場合は蒸発量が涵養量から引かれることとなる. 浸透量は地表面の水深と最終浸透能³⁾から決定される.

表1 各種パラメータの値

マニングの粗度係数	河川では 0.02 氾濫原では 0.05
最終浸透能	10mm/h
透水係数	0.1m/s
間隙率	0.4
t	30 秒
x	1000m
越流幅	10m
川幅	本流では 1200m 支流では 500m

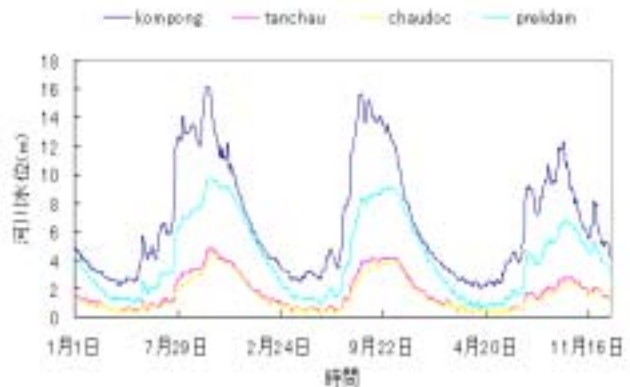


図2 境界条件

4. 計算条件

洪水計算における境界条件は, 河川の上流端と下流端にそれぞれメコン委員会が測定した水位⁴⁾を与える(図2) 水位を与える場所は Kampong Cham, Prek Kdam, Tan Chau, Chau Doc(図1)としている. 計算期間は1996年から1998年である. 降雨はメコン委員会が測定した降水量⁴⁾を用いた. 蒸発量は年間を通して150(mm/month)である.

地下水位の初期条件は、数年間の計算を行った後の乾期の地下水位とした。また、河川における地下水位は、川の水位と等しくしている。

計算に用いた各種パラメータについて表1にまとめる。

5. 計算結果

図3にPhnom Penhにおける水位を計算値と測定値と比較した。計算値は若干高い値となっているものの、低水時、高水時共によく一致している。図4は氾濫期の浸水深と同時期の地下水位分布を表している。氾濫域については実際の値がわからないため比較できないが、2000年洪水がよく表されていること⁹⁾を考えると、実際の状況と大きな違いはないであろう。氾濫期には地下水位が高く、氾濫域では地表面近くまで達していることがわかる。

図5は地下水位の測定値を計算値と比較したものである。測定した地点は河川から約20km, 35km離れた位置にあり、氾濫する場所としない場所での地下水位の変動が理解できる。1m近い誤差が表れている箇所もあるが、水位上昇の時期、変動の規模などよく一致しており、良好な結果といえる。地表面が氾濫する時期には地下水位が上昇し、地表面まで達している。また、氾濫がとどかない場所では地下水位の上昇は2m程であるが、これは降雨によるものと考えられる。

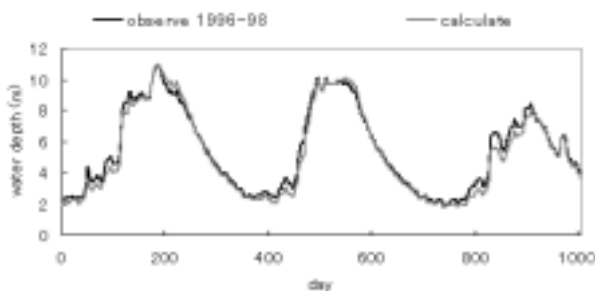


図3 プノンペンの水位

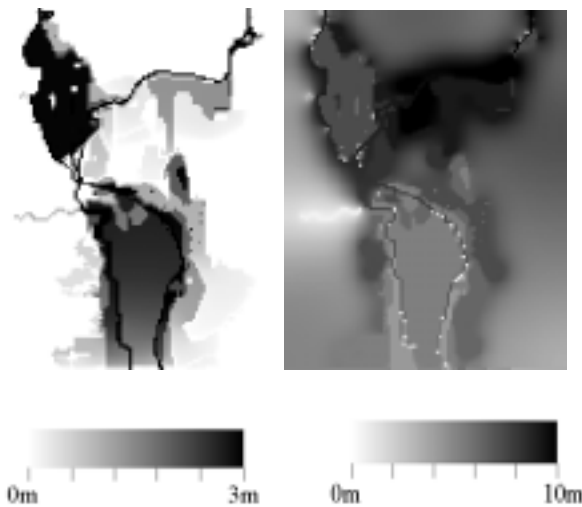


図4 氾濫期の浸水深(左)と地下水位分布(右)

6. 洪水制御と水資源への影響

(1)洪水制御の仮定

過去のデータを基に洪水流量の少ない年を選び、その年の洪水の規模を、洪水制御された状態と仮定した。選り出した年は、93年と98年である。97年を基準年とした。図6は各年のコンボンチャムの流量を表している。この地点の流量は計算領域への流入量を表している。低水時の流量は各年で大きな違いはないが、ピーク流量は93年と98年は大きく減少している事がわかる。基準年との流入量の差が貯水池に蓄えられたと仮定すると、この差を積分することで貯水量が得られる。表2に各年のピーク流量とその制御された割合、および貯水量を示す。

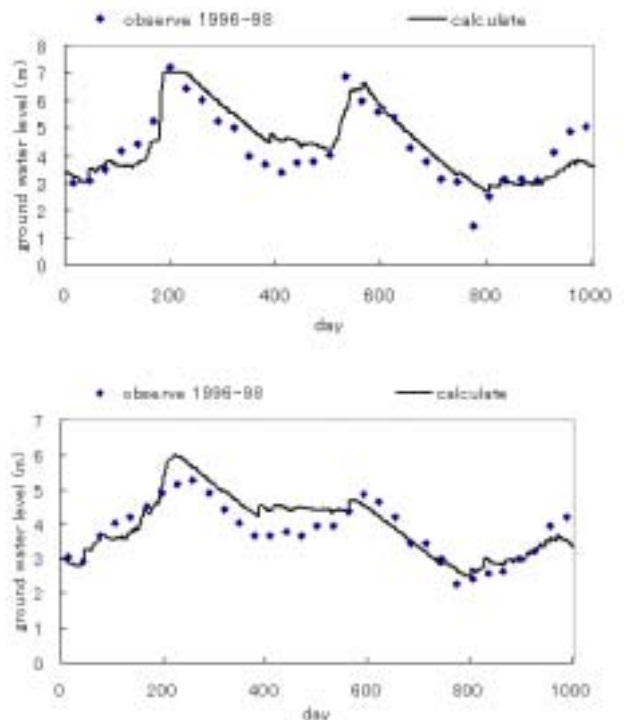


図5 地下水位の測定値と計算値との比較
(上：河川から20km, 下：河川から約35km)

表2 洪水制御と貯水量

年	ピーク流量(× 10 ³ m ³ /s)	制御割合(%)	貯水量(km ³)
1997	32	0	0
1993	22	30	63
1998	18	44	109

(2)水資源への影響

図7は44%の洪水制御がされたと仮定した年の、氾濫期の浸水深と、同時期の地下水位分布を示している。洪水流量が減少したために、全体的に氾濫域が小さくなっている。ただ、トンレサップ川周辺とメコン河、バサック

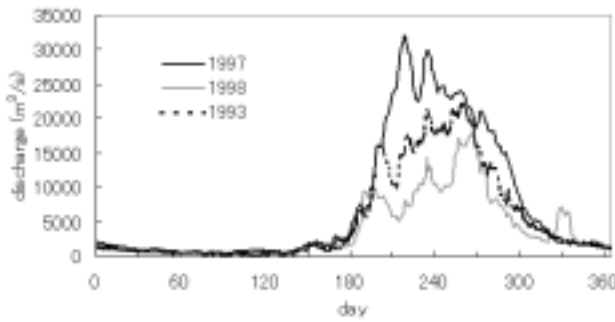


図6 各年のコンボンチャムにおける流量

表3 洪水制御の耕作地への影響

	氾濫面積 (km ²)	氾濫面積の減 少量(%)	灌漑可能面積 (km ²)
基準年	5186	0	0
30%制御	4205	30	126000
44%制御	2923	44	218000

表4 洪水制御の地下水への影響

	地下水涵養量 (km ³)	地下水減少量 (%)	利用可能人口 (億人)
基準年	52	0	4.4
30%制御	36	31	3.0
44%制御	30	42	2.5

川に挟まれた地域では比較的氾濫の変化が少ない。メコン河の東側では氾濫域が特に大きく減少しており、

この地域では氾濫を利用した農業は不可能となる。また、氾濫域が小さくなったために、地下水位が上昇する範囲が制限されている。

表3に洪水制御に伴う氾濫域の面積と、貯水量から得られる灌漑可能面積を示す。灌漑可能面積は、貯水量を水田の単位面積あたりの必要水頭⁶⁾で割ることで求めた。表3より、洪水制御とほぼ同じ割合で氾濫面積が減少していることがわかる。これは、洪水制御が進むにつれ、氾濫を利用した耕作地は大きく減少することを表している。一方貯水量から求めた灌漑可能な面積は氾濫面積に比べて非常に大きな値である。氾濫の減少分は灌漑で補うことができる上に、灌漑域の拡大も期待できる。

表4に氾濫域の減少に伴う地下水涵養量と、その地下水量で生活可能な人口を示す。地下水の使用量が、涵養量を上回った場合、地下水位の低下が予想される。地下水涵養量は、乾期の地下水位と氾濫後の地下水位の差を全領域で積分したものである。利用可能な人口は日本人の一日あたりの生活用水使用量⁷⁾をもとに算出した。洪水制御と共に、地下水涵養量は大きく減少している。氾濫による地下水涵養は非常に大量であり、洪水制御を行ってもカンボジア国内の生活用水としては十分な量が氾濫によって地下水に供給されている。

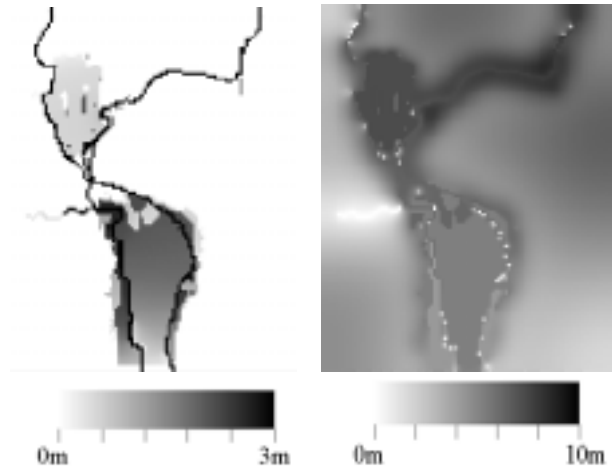


図7 洪水制御された場合の氾濫期の浸水深(左)と地下水位分布(右)

7. おわりに

ここで得られた結果は、農業用水では耕作地の面積に対するものである。しかしながら、氾濫を用いた農業には土砂や栄養塩が自然に供給されるというメリットがある。一方、貯水を利用した灌漑は設備や肥料などコストを高く要する。今後、それらの効果を検討した総合的な評価が必要と考えられる。

地下水資源に関しても、生活用水には充分であるが、他の需要が増した場合に、十分な量が供給可能かということは今後検討されるべき問題である。

参考文献

- 1) JICA and Ministry of rural development, Cambodia: The study on groundwater development in southern Cambodia, 1997
- 2) Mekong Secretariat: Indicative Basin Plan Report, Mekong Committee, 1970.
- 3) 藤村和正, 安藤義久, 山田富美夫, 山中理: 定常降雨による湛水発生時間及び浸透能に関する研究, 水工学論文集, 第44巻, pp193-198, 2000.
- 4) MRC: Lower Mekong Hydrologic Yearbook, 1994.
- 5) 萩原照通, 風間聡, 沢本正樹: メコン河下流域における洪水制御と灌漑域との関係, 水文・水資源学会 2002年研究発表会要旨集, pp28-29, 2002.
- 6) 堀博: メコン河 開発と環境, 古今書院, 1996.
- 7) 国土庁長官官房水資源部編: 日本の水資源, 1999.

発表論文リスト

1. 洪水制御によるメコン河下流域の氾濫農業と地下水涵養への影響, 水文・水資源学会誌, 萩原照通, 風間聡, 沢本正樹 (投稿中)
2. Groundwater resources related with flood and inundation in the lower Mekong River, *J. Hydrology*. (投稿準備中)