

社会変動と水循環の相互作用評価に関する基礎的研究

独立行政法人土木研究所 正会員 ○手計 太一
独立行政法人土木研究所 正会員 吉谷 純一

1. はじめに：本研究は、タイ王国の中央部に位置する Chao Phraya 川流域を対象として、社会変動と水循環の相互作用の評価を目的としている。Chao Phraya 川流域は同国最大の流域面積を持ち、GDP の約 60%を生産し、人口の約 40%が集中地域であるため、同国の社会・経済に多大な影響を持っている。同流域内では 1950 年代から土地利用が大きく変遷し、水需要の拡大から大ダム貯水池が二つ建設、運用されている。このような大規模な人間活動が水循環へ及ぼす影響を定量的・定性的に評価し、さらに水循環が人間活動へ及ぼす影響も相互に評価した。

2. 研究対象流域：本研究で対象とする Chao Phraya 川流域はタイ北部から中央部にまたがる、同国最大の流域面積 (157,925km²) を持つ (図 - 1)。北部の山岳域から Ping 川、Wang 川、Yom 川、Nan 川の 4 支川が合流し Chao Phraya 川本川が始まる。そして東部から Sakae Krang 川、下流では西側から Pasak 川が流れ込み、一部は Tha Chin 川に分流し、最後にタイ湾へと流れる。中流域は氾濫原、下流域はデルタという構造をしている。また、タイ北部はほぼ頁岩、れき岩、砂岩等を基岩とした地質、バンコクを中心とするタイ中央平原は粘土で被われ、その他の平野、丘陵地は概ねローム質の土で被われている。対象流域の気候はアジアモンスーンの影響を受け、雨期 (5 月から 10 月) と乾期 (11 月から 4 月) の明瞭な区別がある。乾期のうちで特に 3 月から 4 月は一年の中でも一番暑気が厳しい時期である。また乾期には 60 日から 70 日間の無降雨日が続くことがある。一方、雨期には激しいスコールに見舞われ、各地で洪水が発生している。

3. 数値実験概要：数値モデルの構造、パラメータ最適化手法やモデル構築の手順は既報に詳述されているので¹⁾、ここでは必要最低限の記載に止める。

(1) 降雨流出モデル：降雨流出計算に当っては、まず、1:250,000 の地図地形データを基に、Chao Phraya 川全流域を 73 のサブ流域に分割した。本研究で使った降雨流出モデルはデンマーク工科大学が開発した集中型概念モデル (Nedbor-Afstromnings Model) である¹⁾。これは流出成分 (地表流、中間流、基底流) を個別の貯留における含水量の関数として計算するものである。入力値となる降水量は、流域に存在するタイ王立灌漑局やタイ気象局の持つ 873 観測所の日降雨データ

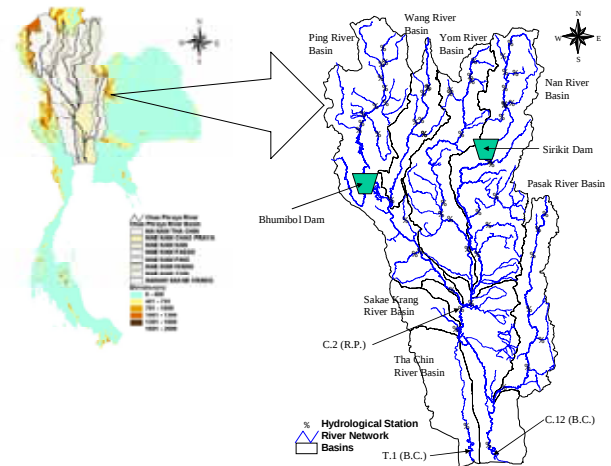


図 - 1 タイ王国と Chao Phraya 川流域の概略図。

からサブ流域毎にティーセン分割し、流域平均雨量を算出した。また蒸発量は、流域内にはタイ気象局が観測している 27 箇所のデータがあり、その観測開始が概ね 1975 年からであるため、1975 年から 2000 年までの各観測所の日平均蒸発量を算出し、雨量と同様にティーセン分割し、年による大幅な差は無かったため、計算期間中は毎年同じ値を利用した。

(2) 河道計算：河道計算に用いた河道網は図 - 2 中の黒太線である。河道網の流況再現では連続式及び不定流の基本式 (サン・ヴナン式) を用いて計算している。水位計算点と流量計算点を交互に配置するスタッガート法で差分化し、陰解法 6 点アボットスキームによって解いている。下流端境界条件は河口から約 40km 上流に位置する C.12 水位観測所の水位の時系列を与えた。また、これまでにタイ王立灌漑局によって測定された 176 箇所の断面形状を利用している。

4. 数値実験の結果：図 - 2 は 1957 年 1 月 1 日から 1997 年 3 月 31 日までの C.2 観測所における (b) 河川流量の観測値と計算値の時系列である。Phase0 では同定期間でもあり、河川流量の計算結果は観測値と良く一致している。Phase1 以降の計算結果に着目すると、特に低水部分において観測値との違いが顕著に見られる。まさにダム貯水池による低水の上昇、そして安定化が図られていることが明らかである。高水においても低水と同様に、極めて顕著な違いが見られる。観測値よりも計算値の方が大きい。その差の平均は 1748.09m³/sec、最大で 3893.05m³/sec、

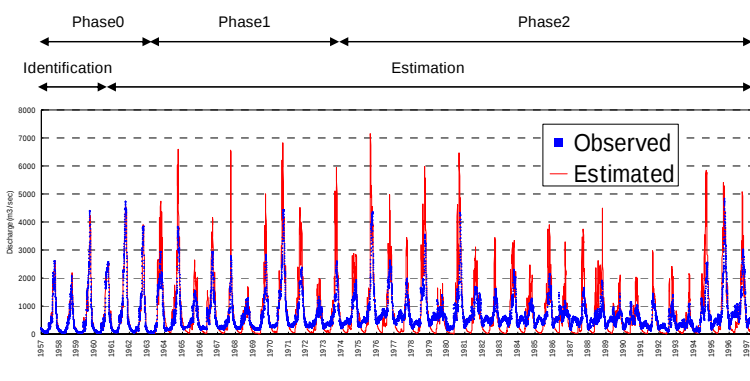


図 - 2 1957 年 1 月 1 日から 1997 年 3 月 31 日までの C.2 観測所における河川流量の観測値と計算値の時系列。

最小で $392.96 \text{ m}^3/\text{sec}$ であり，C.2 観測所における計画許容量 ($4000 \text{ m}^3/\text{sec}$) に匹敵する流量の差がある．既往洪水のうち，被害が大きかったと言われる（手計ら，2004）1978 年，1980 年，1983 年，1995 年，1996 年について着目すると，ここでも観測値よりも計算値の方が非常に大きい．ダム貯水池がなければ，実際よりも大きい洪水に見舞われたことが予想できる．さらに，他の年においても，例えば 1976 年には計算値最大の洪水が推定されており，大ダム貯水池による治水効果は極めて大きいことが推察できる．また Phase1 以降，全体的に流量のピークがずれていることがわかる．観測値よりも計算値の方が早くピークが現れる．Phase0 においてはそのようなズレはみられない．Phase1 におけるピークのズレは平均して 12.09 日，Phase2 においては 19.14 日であった．このように，ダム貯水池による高水ピークを遅らせる現象も確認できた．次に，大ダムが一つと二つとで，どれくらい流況に影響があるのかを統計的に調べた．表 - 1 は Phase1 と Phase2 における日流量の基礎的な統計量である．Phase1 と Phase2 の観測値の平均値にはほとんど差異は無いが，計算値には $100 \text{ m}^3/\text{sec}$ 程度ある．これは，観測値はダム貯水池の運用により流量の安定化が図られていることが影響している．これは標準偏差の結果からもうかがえる．それに対して，計算値はいかなる人間活動も含まれていない全くの自然流況であることから，平均値や最大値は降水量に因っている．また，計算値の標準偏差は非常に大きく，時間的な変動量が大きいことを示している．Phase1 と Phase2 における観測値と計算値の違いはそれぞれ $22.00 \text{ m}^3/\text{sec}$ ， $41.85 \text{ m}^3/\text{sec}$ である．ダム一つよりも二つの方が約二倍の低水安定化効果があると言える．次に，年最大日流量について一般化極値分布をあてはめて確率流量を算出した（表 - 1）．ここで，母数の推定には PWM 法を利用した³⁾．精度の評価には，標準最小二乗規準（SLSC），相関係数（COR）を用いた⁴⁾．10 年，20 年，30 年，50 年，100 年，200 年，300 年の確率流量を求めたが，標本数より過剰に大きい年数に

	ALL		Phase1		Phase2	
	1963-1996		1963-1973		1974-1996	
	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.
N	34	34	11	11	23	23
Return Period	y10	3765.4	6436.4	4040.7	7295.5	3556.5
	y20	4496.7	7530	4682.3	8453.6	4428.4
	y30	4943.3	8127.9	5056.9	9119.9	5004.2
	y50	5529.8	8921	5531.1	9952.8	5811
	y100	6373.3	10012.2	6181	11076.4	7074.7
	y200	7277.8	11123.9	6840.6	12195.9	8568
Accuracy	SLSC	0.0214	0.0226	0.0301	0.0305	0.0296
	COR	0.975	0.963	0.964	0.924	0.97

参考値

表 - 1 一般化極値分布（GEV 分布）を用いた確率流量の推定結果．

ると，ダム貯水池の建設によって，いずれの確率流量は約 65% 程度の減少している．さらに，Phase1 の 10 年確率流量は約 81% の減少，Phase2 の 10 年，20 年確率流量は約 60% 前後の減少に繋がっていると考えられる．二つの大規模ダム貯水池の建設・運用によって，頻度の高い小規模，中規模の洪水については少なくとも 60% 程度の減少に寄与していることが明らかになった．また，参考値として掲載している 1963 年から 1996 年までの 50 年以上の確率流量については，大規模洪水の約 50% 程度の流量減少に貢献していると推察できる．

5．まとめ：対象流域には大規模なダム貯水池が存在しないサブ流域（Wang 川，Yom 川）があるため，抜本的な利水・治水対策を行うためには，Bhumibol と Sirikit ダム貯水池の二つのみに依存する流域管理体制を改める必要がある．例えば 1995 年や 2002 年に発生した洪水氾濫や 2005 年の干ばつといった大規模水災害は上述の二大ダム貯水池建設後に起こっている．今後，対象流域内に多数存在する小・中規模の灌漑用ダムの多目的運用によって，上述の既往洪水や干ばつを防げたのか否かについて検討を行いたい．

参考文献

- 1) 手計太一・吉谷純一・チャンチャイ・スヴァンピモル・宮本守・山田正 (2005c): MIKE11 を利用したタイ王国・Chao Phraya 川流域水循環モデルの構築とその検証，水文・水資源学会誌，査読中．
 - 2) 手計太一・吉谷純一・Chanchai Suvanpimol (2004): 2002 年のタイ王国・Chao Phraya 川流域における洪水，自然災害科学，Vol.23, No.2, pp.215-228．
 - 3) 寶馨・高棹琢馬 (1990): 水文頻度解析モデルの母数推定法の比較評価，土木学会水工学論文集，第 34 巻，pp.7-12．
 - 4) 水文・水資源学会編集 (1997): 水文・水資源ハンドブック，朝倉書店，636pp．
- 謝辞：謝辞：本研究は科学技術振興事業団・戦略的基礎研究推進事業「社会変動と水循環の相互作用評価モデルの構築」（代表：寶馨京都大学防災研究所教授）の成果の一部である．

については表 - 1 中のように灰色に反転表示し，参考値として記載した．その結果，ダム貯水池の運用が始まった 1963 年から 1996 年までの 34 年間について観測値と計算値の確率流量（10 年，20 年，30 年）を比較する