水文・水資源学会誌
J. Japan Soc. Hydrol. & Water Resour.
Vol. 7, No. 6 (1994) pp. 520-528

チャオプラヤ流域の水資源危機とその対策

Counter-Measures Against Water Resources Crisis in the Chao Phraya River Basin

新谷 渡*

Wataru SHINTANI

竹内邦良**

Kuniyoshi TAKEUCHI

ヴァンチャイ シヴァ*

Vanchai SIVAARTHITKUL

(山梨大学大学院)

Graduate Student, Yamanashi University

(山梨大学工学部)

Faculty of Engineering, Yamanashi University

(山梨大学大学院)

Graduate Student, Yamanashi University

There are two large reservoirs in the Chao Phraya River Basin, namely, the Bhumibol and the Sirikit. The Storage volume is 13.5 and 9.5 [$\times 10^9 \text{m}^3$], respectively. Up to 1980, the priority was given to hydro-power generation and nowadays to paddy field irrigation of the Chao Phraya Delta. Water crisis in the Chao Phraya River Basin have been occurring continuously in 1990's and water storage levels of both reservoirs are low. The main reasons are the decrease of inflows and the increase of consumption disobeying the planned operation rule. To solve the problem, we introduce, apart from the measures that Thai Government is taking, the rule that restricts irrigation area according to reservoir storage available at the beginning of cropping season.

Key words : water resources crisis, dry season irrigation area, Chao Phraya Delta, Bhumibol Reservoir, Sirikit Reservoir

タイ王国のChao Phraya川流域にはBhumibol (総貯水量135 [億 m^3]), Sirikit (95 [億 m^3])という非常に大規模な貯水池がある。この貯水池は、以前は発電を、現在はその下流にあるChao Phraya川流域の耕作地帯への灌漑用水供給を主な目的として放流操作されている。近年の両貯水池の貯水量は低下の一途をたどり、90年代は死水域寸前の状況にあり、大きな問題となっている。この原因については、近年貯水池への流入量が減ってきていることや、耕作面積の大きさに伴う灌漑用水の供給量等が挙げられる。その対策として現在タイ王国で提案されているいくつかの計画、ならびに我々が考案したルールについて紹介する。このルールはこれから農作物を作付けるにあたり、貯水池の残存貯水量を確認して、必要ならば灌漑耕作面積を制限するものであり、貯水池が渇過・溢水する危険率をパラメータとして表わしてある。このルールから近年の灌漑耕作面積はかなり危険率の高い状況であったことが浮き彫りとなった。

キーワード：水資源危機、乾期灌漑耕作面積、チャオプラヤ・デルタ、プミボン・ダム、シリキット・ダム

I. はじめに

1. Chao Phraya流域

図-1 にタイ王国のChao Phraya川流域図を示す。
流域面積は約16 [万 km^2] で国土の約30 [%] を占め

ている。上流にはPing, Wang, Yom, Nanと4つの支川があり、Nakhon Sawan県で合流してChao Phraya川となる。Chao Phraya川デルタは、河口から約200 [km] 上流のChai Natを頂点に、シャム湾に面した海岸線を底辺とした三角形の形をとってい

*山梨大学大学院博士後期課程 〒400 山梨県甲府市武田4-3-11, Tel: 0552-20-8603, Fax: 0552-53-4915

Doctor's Course, Graduate Student, Yamanashi University, Dept. Civil and Environmental Eng., Faculty of Eng., Yamanashi Univ., Takeda-4, Kofu, 400, Japan

**山梨大学工学部土木環境工学科 Dept. Civil and Environmental Eng., Yamanashi University

Figure 1 Chao Phraya Basin

る。ここに広大な水田地帯が広がっており、世界有数の米作地帯となっている。その上流にはBhumibol, Sirikitという大規模貯水池があり、この地域の産業、経済に多大な恩恵を与えている。表一に両貯水池の概要を示す (EGAT, 1989)。

例年Chao Phrayaデルタでは二期作が行われている。この流域は熱帯サバナ気候に属しており、雨期は耕作地帯への直接降雨及び両貯水池を経由せずに流出する河川流量 (残留域流出) を利用して主に稲作を行い、その両者で足りない分は両貯水池から補給する。乾期は降雨、残留域流出があまりないため、灌漑用水のほとんどをBhumibol, Sirikit両貯水池から供給している。'81年以降の乾期の耕作面積は例年約4,800 [km²] (3,000,000 [rai])、雨期は約12,000 [km²] (7,500,000 [rai])である。すなわち乾期の灌漑耕作面積は、Chao Phrayaデルタの耕作地帯の面積の40 [%]である (Takeuchi, 1993; Srihibhath *et al.*, 1988; Kerdpitak *et al.*, 1987; Panichpong *et al.*, 1987)。

2. 貯水池からの放流目的の変移

図一にBhumibolの月流入量と月放流量の経年図を示す。Bhumibol Damは1964年に完成し、当初は発電を主目的に放流を行っていた。1972年にSirikit Damが完成し、この時に放流の主目的を灌漑用水供給と発電の両方にとったことにより、乾期にや

Table 1 Characteristics of Bhumibol and Sirikit Reservoir

Name of Dam	Catchment Area [km ²]	Average Inflow (1952-91)[m ³ /s]	Effective Storage [x10 ⁶ m ³]	Mean Residential Time [year]	Installed Power Capacity [MW]
Bhumibol Dam	26,400	186	9,662	1.6	6x70+1x115=535
Sirikit Dam	13,300	175	6,660	1.2	3x125=375

Figure 2 Monthly Inflow and Outflow of Bhumibol Reservoir

や多く、雨期をやや抑制した放流をするというパターンに変わった。これを契機に農民は、乾期でも耕作が可能だということがわかり、'70年代は乾期の耕作面積が年々増加していった。'79年の時点では、乾期の耕作面積は'73年頃の約4倍にも拡大していた (Siriwadh, 1989)。

'79年は大渇水年だったため、それに伴う雨期の灌漑用水補給量も大きく、その結果'80年の乾期の耕作のための灌漑用水が不足し、大きな社会問題となった。これを契機に'80年以降は、放流の主目的を灌漑用水供給とし、発電は副次的利用の方針をとるようになった。これにより放流の殆どは乾期に行われるようになり、雨期の放流はかなり抑えられている。よって図-2に示された流入量と放流量の関係は、かなり正確に半年フェーズのずれた互い違いの関係になっている。

II. 両貯水池の水位低下の現状とその原因

1. 水位変動の特徴、背景及び影響

図-3はBhumibol, Sirikit両貯水池合計の貯水量変動を示したものである。満水位(上端の横線)、死水域(下端の横線)、Upper及びLower Rule Curveも両貯水池合計のものである。Upper Rule Curveは洪水時に備えて空けておくべき限界水位を示したものである。Lower Rule Curveは、貯水量がこれを下回った場合は、下流での需要に対してその放流の一部を制限する境界水位として決められている (Sib-

hibhadh *et al.*, 1988; Rohde *et al.*, 1981)。

毎年の貯水量変動の特徴として、1月から5月の乾期の耕作期間中は、流入がほとんど無く、例年はおよそ4,800 [km³]の耕作地帯に灌漑用水を供給するので、図-3に示すようなパターンで水位を下げて行く。6月から始まる雨期の耕作期間は、流入が増えてくるため、この期間に水位を大きく取り戻している。

'86年の貯水量はかなり高いところにあったが、年々水位の低下を招き、'91, '92年に至っては死水域に達する寸前の状況にある。このため発電が満足にできないことや、耕作地帯へ安定した水供給ができないこと、海水の遡上を抑えるための河川維持流量が確保できなかったため、果樹園や畑では塩害がでたり、Bangkokでは水道水に塩水が混ざるといった事態も起こっている。

2. 貯水量低下及び渇渴の原因

この貯水量低下及び渇渴の原因としては、次に述べるa) からd) が考えられる。

a) Lower Rule Curveが守られていない

貯水量がLower Rule Curveを下回ったときには、放流を制限して貯水池が渇渴してしまうことを避けるようにする必要がある。しかし、貯水池からの放流の主目的が灌漑用水供給であるため、耕作期間中に水供給を削減することは、農作物の育成に直接影響を与えるために、現実には実行困難である。

Figure 3 Temporal Changes of Total Reservoir Storage (Bhumibol and Sirikit Reservoirs)

b) 無効放流

貯水池から水田地帯までおよそ500 [km] 離れているために、ダムから放流した水が耕作地帯に達するまでに数日間かかる。この期間の気象予測が完全にはできないために、灌漑用水が降雨中の水田に供給されるなどの無効放流は必ず生じる。

c) 乾期作のための準備貯水量が少ないときの、灌漑用水供給量

図-3の'90年代の水位変動の中で頻繁に見られるように、乾期の耕作期が始まる時点ですでに両貯水池の残存貯水量が少ないときは、予め乾期の耕作面積を制限して、灌漑用水供給量を抑えることにより、貯水池が涸渇してしまうことを避ける必要がある。しかし実際には、貯水量が少ないにも関わらず、広く作付が行われていた。(IV章3節及び図-9参照)

d) 貯水池への流入量の減少

図-4はBhumibol貯水池上流域Chiang Mai県での年降雨高及びBhumibol貯水池への年流入高の経年図、図-5はSirikit貯水池上流域Nan県での年降雨高及びSirikit貯水池への年流入高の経年図、図-6はBhumibol貯水池上流のPing川流域での耕作面積の経年図である。表-2は図-4、5で示された回帰直線の傾きとその期間における平均値をまとめている。1972-91年の20年間及び1952-91年の40年間の傾向をみると、いずれの貯水池への流入量も減少傾向にあることがわかる。量的には両貯水池への1972-91年の20年平均の年流入量は108 [億m³/年]であるが、1987-91年の5年平均では84 [億m³/年]であり、流入量の約20 [%] 減の状態が継続していることがわかる。これは上流域の降雨(Sirikitでの1952-91年は除く)そのものが減少傾向にあることや、Ping川上流域におけるMae Ngat Dam ('85年竣工、総貯水量2.65 [億m³])、Mae Kuang Dam ('93年、2.63 [億m³])等の建設に伴うこの地域での水消費量の増加等が原因と考えられている(Peetanonchai,

Figure 4 Annual Precipitation at Chiang Mai and Annual Runoff Height at Bhumibol Dam

Figure 5 Annual Precipitation at Nan and Annual Runoff Height at Sirikit Dam

Figure 6 Development of Irrigable Area in the Upper Ping Basin

Table 2 Summary of Hydro-Meteorological Information of Bhumibol and Sirikit Catchments

Station	Precipitation [mm/year]				Station	Runoff Height [mm/year]			
	1972-91 (20 year)		1952-91 (40 year)			1972-91 (20 year)		1952-91 (40 year)	
	Mean	Trend	Mean	Trend		Mean	Trend	Mean	Trend
Chiang Mai	1143.97	-7.22	1179.68	-4.12	Bhumibol	209.82	-6.09	221.6	-1.55
Nan	1231.34	-14.4	1195.19	+1.90	Sirikit	395.74	-9.16	415.8	-3.32

1993)。

Ⅲ. 対 策

1. 流域内にさらにダムを建設する

2. 隣国を含む他流域から導水する

1, 2 についての計画を図-7と表-3に示す。これらの計画は主にタイ国電力省(EGAT)を中心に進められており、経済的、技術的、環境への影響、そして水資源開発すべての側面から調査し、可能な選択肢を検討している。(2)から(7)の計画は、タイ国内を流れる河川から隣国ビルマを流れるSalawin川へ流出してしまうものをBhumibolへ送水する構想である。(8)から(10)は同様に隣国ラオスとの国境を流れるMae Khongへ流出するものをSirikitへ送水するものである。(1)はビルマの領地にダムを建設し、国際河川のSalawin川から年間100[億 m^3]の水を分流しようとするもので、これの実現はかなり難しいものと思われる(Mahasandana, 1989)。

3. 稲作から野菜や果樹栽培への転作の指導

政府は稲作の代りに、稲よりも水をあまり消費しない野菜や果樹栽培をするように指導している。しかしながら農民としては、土地を改良するための初期投資が必要であること、野菜は失敗するときもあり米の方が作り易いこと、米以外の農作物の育成にあまり精通していない等の理由で、稲作が賢明な選択となっている。また果樹栽培に関して言えば、市場の価格は良いが、年間通じての水の安定供給が必要である。しかし水利権といったものが確立していないので、乾期に水が到達しない所もでてくる。この時のダメージは稲作より大きいので、大きなリスクを伴う転作に躊躇する地域もある(Kono, 1993)。

4. 無効放流を少なくする

無効放流を減らす方法としては、水田地帯のやや上流のNakhon Sawan地点での流量予測をすること(国際協力事業団, 1988)、耕作地帯もしくはその上流に調整池を設ける等が考えられる。これらは短期的な時間スケールでのモデルの構築が必要となってくる。

5. 乾期の灌漑耕作面積を制限する

乾期の耕作期が始まる時点ですでに両貯水池の残存貯水量が少ないときは、予め乾期の灌漑耕作面積

Figure 7 Proposed Water Diversion Projects

Table 3 Proposed Water Diversion Projects

planning project	planning water transportation [$\times 10^6 m^3/year$]
(1) Salawin River - Mae Taeng	10,000
(2) Mae Pai - Mae Khan	300 - 500
(3) Mae Pai - Mae Chaem	500
(4) Mae Ngao - Mae Tun	500
(5) Mae Moei - Mae Tun	500
(6) Mae Cha Rao - Mae Tun	500
(7) Mae Lamao - Mae Tun	500
(8) Mae Kok - Mae Yom	
(9) Mae Ing - Mae Yom	(8), (9), (10)...
(10) Mae Yom - Sirikit Reservoir	1500

を制限する。このことに関して、どこまで制限すればよいか、その定量的なガイドラインが現実には必要になってくる。

Ⅳ. 乾期灌漑耕作面積制約モデルと計算結果

上述の諸対策のうち、本論文ではIII章5節の乾期の灌漑耕作面積を制限する為の、合理的なルール作りを検討した。このルールは、雨期の耕作面積を12,000[km^2]一定と考え、乾期の耕作面積を与えるルールである。つまり乾期耕作期の始まりの時点で、

Figure 8 Schematic Diagram

両貯水池の残存貯水量（乾期耕作準備貯水量）が少ない時には、それに応じて乾期の耕作面積を減らして灌漑用水供給量を抑えて、貯水池が任意の確率で涸渇・溢水するという事態を避けるという考え方をを用いる。なお塩水遡上阻止や河川航行の為の河川維持用水及びBangkok地域での上水量等は、一切制限せず、すべて供給するものとした。以下にモデルを述べる。

1. Chance Constraint DDC・FDC Model

既存の流域をモデル用に模式化したものを図-8に示す。乾期灌漑耕作面積を $A(C)$ とし、そのときの耕作面積制限率を C として表すと次のようになる。

$$A(C) = (1-C) \cdot 4,800 \text{ [km}^2\text{]} \quad (1)$$

この C を時刻 $\tau=1$ [半旬]（1月第1半旬）から乾期の耕作期間中ずっと続けて、なお且つその後が続く雨期の間の灌漑用水を必要量すべて供給した場合でも、貯水池が涸渇する確率を β 以下、溢水する確率を α 以下に保たれるようにするために、 τ 時点で必要な両貯水池合計貯水量 V の最小値 G は、以下の確率制約条件を満たす解として求められる（竹内・新谷, 1993; 竹内他, 1984; Takeuchi, 1986）。

$$G(\tau, C, \beta, \alpha) = \text{minimum } V \quad (2)$$

subject to

$$S_{\tau+m} = S_{\tau+m-1} + I_{\tau+m-1} - R_{\tau+m-1} - P_{\tau+m-1} \quad (3)$$

$$\text{Prob} \{S_{\tau+m} \leq 0\} \leq \beta \quad (4)$$

$$\text{Prob} \{S_{\tau+m} \geq V_{cap}\} \leq \alpha \quad (5)$$

$$R_{\tau+m-1} = (1-C) \cdot DI_{\tau+m-1} + DS_{\tau+m-1} - (1-C) \cdot A_{max}(m) \cdot RF_{\tau+m-1} - I3_{\tau+m} \quad (6)$$

$$S_{\tau} = V \quad (7)$$

$$R_{\tau+m} \geq 0 \quad (8)$$

$$m=1, 2, \dots, 73$$

ここで、乾期の耕作期間（ $1 \leq m \leq 30$ [半旬]）は $A_{max}(m)=4,800$ [km²]の面積に対し、 $0 \leq C \leq 1$ の範囲で作付区域の制限を行う。

雨期の耕作期間（ $31 \leq m \leq 73$ [半旬]）は $A_{max}(m)=12,000$ [km²]に対して作付区域の制限は一切行わないものとする（ $C=0$ ）。

$\tau+m-1$ ：現時点 τ 半旬より m 半旬後の時点。

$R_t (=R1t+R2t)$, $I_t (=I1t+I2t)$, $P_t (=P1t+P2t)$ ： t 時点でのBhumibol及びSirikit両貯水池における合計放流量、合計流入量、合計蒸発量。

$S_t (=S1t+S2t)$ ： t 時点期首でのBhumibol及びSirikit両貯水池における合計貯水量。

$R1t$, $R2t$ ： t 時点におけるBhumibol, Sirikit貯水池からの放流量。

$I1t$, $I2t$ ： t 時点におけるBhumibol, Sirikit貯水池への流入量。

$P1t$, $P2t$ ： t 時点におけるBhumibol, Sirikit貯水池からの蒸発量。

$S1t$, $S2t$ ： t 時点期首におけるBhumibol, Sirikit貯水池の貯水量。

$I3t$ ： t 時点におけるBhumibol及びSirikit両貯水池を経由せずに流出する河川流量（残留域流出）。

RFt ： t 時点におけるチャオプラヤ・デルタ内の降雨観測所51地点の平均降雨量。

DI ： $A_{max}(m)$ 耕作した際の t 時点における耕作地帯での推定水需要量。

DS ： t 時点における上水、塩水遡上防止及び舟運の為の河川維持用水等の需要量。

V_{cap} ：両貯水池合計の貯水池容量。

C ：乾期灌漑耕作面積制限率。

β ：涸渇危険率。

α ：溢水危険率。

また $I1t$, $I2t$, $I3t$, RFt に関しては、1972-89年の半旬データをDDC・FDCという形で統計処理したものを用いた（吉川・竹内, 1975; RID, 1912-88）。

2. 溢水・涸渇危険率 α , β について

a) 溢水危険率 α

ここでいう溢水とは両貯水池が同時に溢水してしまうことを指す。よって溢水時期が同時になるような操作をすることを前提としている。この貯水池では流入量に対する貯水池容量が非常に大きいので、

Figure 9 DDC-FDC Irrigation Area Planning Curve

水位が低い時は溢水する可能性は極めて低いので α の値は変えてもかなり小さい値でいい限りルールのは形は全く変わらない。貯水池容量が小さい場合は、この α の値をどうするかも考慮に入れる必要がある。ここでは0.5という値を用いたが溢水してしまう危険率は実際にはもっと低いものとなっている。

b) 涸渇危険率 β

β は0.05, 0.1, 0.2, 0.5と4通りの涸渇危険率を用いてここでは計算した。どのくらいの涸渇危険率に対処できるように灌漑面積を決めるか、つまり β の値をどうするかは、政策的な判断の下であらかじめ決めておく必要がある。

3. 得られた結果の検討

図9はA(C)とGの関係を示したものである。このルール (DDC-FDC Irrigation Area Planning Curve) は、乾期の耕作を始める時点(この流域の場合は年初)で両貯水池における総貯水量を確認し、それを基に乾期の灌漑耕作面積を決めるというものである。

a) 現実の作付状況とその危険率

'91, '92年の年初の貯水量は約115 [億 m^3]であったが、例えば0.1の涸渇危険率で耕作面積を決める場合は約3,200 [km 2]にすればよいというルールになっている。しかし実際の耕作面積は、約4,000 [km 2] ('91), 3,400 [km 2] ('92)であった。このことは、ルールによると'91年はおおよそ涸渇危険率0.5, '92年は0.2という極めて涸渇の可能性の高い作

付状況であったことになる。

b) EGATの作成したルール (Dry Season Area Reduction Curve)

図9中央の右上がりの直線は、タイ電力省 (EGAT) の提案した作付制約ルールである。これは、様々な直線の傾きや切片を試行錯誤法により、シミュレーションから求められたものであるが、このルールは現実の作付状況とはかけ離れて、水位が低い時にはかなり耕作面積を小さくしたルールとなっている。これはシミュレーションの期間中の貯水量が涸渇に至らないようにした、つまり涸渇危険率 β を0にしたためである。また発電量をも同時に考慮しているために、耕作面積を小さくすることにより水位を高くとることを促し、なるべく多くの発電量を得ることを期待したルールとなっている (EGAT, 1991)。

4. 作付区域の制限、指導及び統制

'94年の場合は、年初の時点の貯水量がすでに85 [億 m^3]という極めて低水位で始まっており、政府としては米の乾期作をやめるように指導している。しかし日本が米の輸入を一部認めたことにより米価が高騰し ('93年の2倍)、農民としては米を作りたいがっている状況である。米価が良いので、深さ20[m]の井戸を掘り、地下水をポンプで汲み上げて水を調達し、それで乾期作を始めるところもあれば、雨期が終わって農作物の収穫が済んだ後、耕作地帯にまだ水があるときは、これから先の水のあてがなくて

も、その水を使って乾期作を始めてしまうところもある。乾期が進んで耕作地帯に水がなくなってくると、タイ王立灌漑局(RID)に貯水池の水を放流することを要求し、結局は放流を制限できなくなってしまう。よって貯水池が涸渇するのは必至の状況である。

ここで述べたルールは、乾期の始まる時点で残存貯水量が少ない時に、乾期灌漑耕作面積を制限することにより放流(灌漑用水供給)を抑えて、貯水池が許容以上の確率で涸渇することを避けるというものである。その制限をする際のガイドラインとなるルールを提案するところまでが筆者らにできる限界である。現実には耕作面積の制限を行うことができるかどうか、これまでの水利用慣行を統制していけるかどうかは、タイ王国政府の抱える大きな政策課題である。

V. おわりに

本研究に際し、タイ王国電力省(EGAT)気象水文部のKitti Naparaxawong, Sumate Chaiyapruk, Chutchawal Sawasdirurk, Boonsong Peetanonchaiの各氏にデータや資料の提供、ダム管理実態の説明など多大な協力を頂いた。また文部省科学研究費補助金、国際学術研究、平成3-5年(課題番号030416016: 椎貝博美代表)の援助を得た。記して深甚なる謝意を表する。

参考文献

- 吉川秀夫・竹内邦良(1975): 渇水持続曲線の性質とその応用, 土木学会論文報告集第234号, pp. 61-71
- 国際協力事業団(1988): タイ国チャオピア川洪水予報システム計画調査主報告書
- 高谷好一(1982): 熱帯デルタの農業発展—メナム・デルタの研究—
- 竹内邦良・富田茂・伊藤幸義(1984): 給水用貯水池のためのDDCルールカーブ, 第28回水理講演会論文集, pp. 21-26
- 竹内邦良・新谷 渡(1993): 熱帯モンスーン域における大規模貯水池操作のためのDDC・FDCルールカーブ, 第37回水工学論文集, pp. 93-98
- Electricity Generating Authority of Thailand (1989): Basic Data Existing Hydro Power Plants, EGAT, Thailand, Report No. 31104-3201, pp. 1-22
- Electricity Generating Authority of Thailand (1991): Improvement of the Operating Rule Curves for Bhumibol and Sirikit Reservoirs, EGAT, Thailand, Reserch Report No. 60-57
- ESCAP (1991): Assessment of Water Resources and Water Demand by User Sectors in Thailand, United Nation, New York
- Kerdpitak, C. and J. Kaewkulya and V. Kao-Upatham and C. Khayankarnavee (1987): Water Use, Post Impoundment Environmental Evaluation and Development Planning of the Bhumibol and Sirikit Projects, Vol. 6: Human Use Values, EGAT, Thailand, pp. 19-111
- Kono, Y. (1993): Changing Features of Irrigated Agriculture in the Chao Phraya Delta, Thailand, Proc. Environmentally Sound Water Resources Utilization, Bangkok, Vol. II, pp. III-224-III-231
- Mahasandana, T. (1989): Hydro Power Development in the Chao Phraya River Basin, EGAT, Hydro Power Engineering Department, Thailand
- Panichpong, S. and S. Chomcharn (1987): Land Use, Post Impoundment Environmental Evaluation and Development Planning of the Bhumibol and Sirikit Projects, Vol. 6: Human Use Values, EGAT, Thailand, pp. 1-18
- Peetanonchai, B. (1993): The Impact of Water Resources Development in the Upper Basin on the Inflow of the Downstream Reservoir, Thechnical Workshop on "Hydrological Research in a Changing Environment in Sub-Humid and Humid Tropical Area", pp. 1-21
- Rohde, F.G. and K. Naparaxawong (1981): Modified Standard Operation Rules for Reservoirs, Journal of Hydrology, 51, pp. 169-177
- Royal Irrigation Department (1912-88): "Thailand Hydrological Yearbook", Royal Irrigation Department, Hydology Division, Thailand, Vol. 1-31
- Sribhibhadh, S. and C. Sawatdirurk (1988):

- Water Management of Multipurpose Projects in Thailand, Conflict Analysis in Reservoir Management, AIT, Thailand, pp. 349-370
- 17) Takeuchi, K. (1986): Chance Constraint Model for Real-Time Reservoir Operation Using Drought Duration Curve, *Water Resources Research*, Vol. 22, No. 4, pp. 551-558
- 18) Takeuchi, K. (1993): Analyses of Flow Regime of the Chao Phraya River, *Proceedings of an international symposium, Hydrology of Warm Humid Regions*, IAHS Publication No. 216, pp. 181-193
- 19) Tingsanchali, T. (1993): Water Resources Utilization in the Chao Phraya Basin with Minimum Water Shortage and Environmental Hazards, *Proc. Environmentally Sound Water Resources Utilization*, Bangkok, Vol. II, pp. III-32-III-42
- (受付：1994年7月4日，受理：1994年7月27日)