

タイ王国・Chao Phraya 川流域における大ダム建設が 下流の流況に与えた影響

Effect of Large Scale Dams on Hydrological Regime in the Chao Phraya River Basin,
Kingdom of Thailand

手計太一¹・吉谷純一²・Chanchai Suvanpimol³
Taichi TEBAKARI, Junichi YOSHITANI and Chanchai SUVANPIMOL

¹正会員 工修 独立行政法人土木研究所 水工研究グループ JST/CREST (〒305-8516 つくば市南原 1-6)

²正会員 Ms. Eng. 独立行政法人土木研究所 水工研究グループ (〒305-8516 つくば市南原 1-6)

³非会員 Ms. Eng. Hydrology Division, Royal Irrigation Department (811 Samsen Road, Dusit, Bangkok 10300, Thailand)

The purpose of this paper is to evaluate the effect of the human activities on water resources and hydrological cycle. The Chao Phraya River basin was selected for this study. The Chao Phraya River basin, the largest basin in Kingdom of Thailand is located in central and northern part of Thailand. This basin has two large-scale dams named Bhumibol Dam across the Ping River and Sirikit Dam across the Nan River. This large storage dams are beneficial to the country for generating electricity and discharging water for the irrigation project areas and flood mitigation on both banks of the Ping, Nan and the Chao Phraya rivers.

There is no the long-term increase and decrease tendency of the precipitation. As the results of comparing the annual change of monthly runoff before and after dam construction, the minimum runoff increased and the maximum runoff degreased.

As the results of spectrum analysis using FFT, after the Bhumibol dam was constructed, the daily runoff in Nakhon Sawan had period characteristics in 3.5 days and 7 days and the released water from the Bhumibol dam had period characteristics in 2.5 days, 3.5 days and 7 days. Dam operation effected on the hydrological cycle considerably.

Key Words: large scale dam, Chao Phraya River Basin, water resources

1. はじめに

1350 年の Ayutthaya 王国の設立以前から, タイ中央部は Chao Phraya 川, Tha Chin 川, Mae Klong 川, Bang Pakong 川からの堆積物によって形成されるデルタであった。それゆえ, そこは広大な肥沃な土地となり, Chao Phraya 平野の Chao Phraya 川流域と名づけられた¹⁾。

Chao Phraya 平野は 3,000 年以上前から開発され, 地域社会はここから広がっていった。そしてその頃から, 河川沿いには多くの商港があり, 経済や文化の中心であった。

そして現在, Chao Phraya 川流域にはタイ全人口の約 38%が住み, GDP の約 58%を占める社会経済的に最も重要な地域である。それゆえ, タイ政府にとって本流域における水資源開発は非常に重要な政策事項である。

かつて, Chao Phraya 川流域では Greater Chao Phraya Project に代表されるような大規模灌漑プロジェクトが数多く多く行われ, 国内消費は基より, 外貨獲得のための輸出品として, 穀物などが生産されてきた。近年では, タイ国内の他の地域と比較して, 約 1.7 倍程度収穫能力がある。これは, 改良品種の導入比率, 機械化の発展, 灌漑施設の充実といった状況から判断して, 他

の地域からは断然突出している。しかし, 近代化が進んだ地域と深水ないし浮き稲の氾濫稲作が共存しているのが実情であり, こうした不良環境下での稲作が大きくタイ稲作経済を支えている。

一方, タイ全土の約 0.04%の面積にすぎないバンコク首都圏内にタイ全人口の約 11%の人口が集中し, それとともに社会経済的財産も過度に集中している。それにも関わらず, 雨季には内水氾濫が度々起き, 外水氾濫の危険も高い。しかし, バンコクは守るという徹底した政策のおかげもあり, 近年では「災害」という意味での外水氾濫は一度しか起こっていない。これは, バンコクを除いた中下流域を無視した政策である。

近年, タイ経済構造は大きく変容し, ピーク時で GDP の 30%以上を占めていた農業が, 12%程度にまで減少した。それに対し, 製造業が 30%近くまで増加している。農地が工業用地や住宅に取って代わっている。工場の多くが Chao Phraya 川下流の河川沿いに建設されている。そのため新たな水質汚染問題も, この流域では抱えている。

防災の面からみても, テレメータシステムは恒常的な予算難のため稼動していないのが実情であるため, スタ

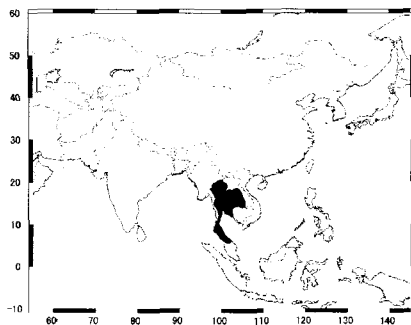


図-1 東南アジアに位置するタイ王国



図-2 タイ国内に位置する
Chao Phraya 川流域

ップのいない土日にはデータがバンコクに届かないという事態が幾度とある。2002 年には、1995 年に次ぐ史上 2 番目に大きい洪水があったにも関わらず、上述のような問題があったため、洪水予測ができなく、大きな被害があった。

このように、社会経済構造が流域の流況に与えている影響は大きく、これまでの実態を正確に把握することは、今後の社会経済構造予測に合わせた水資源予測を可能とする。

本稿では、特に、1964 年に完成した Bhumibol ダム、1977 年に完成した Sirikit ダムという二大ダムが流域の水資源や水循環に与えた影響の実態について報告する。

2. Chao Phraya 川流域水資源開発史

(1) 概要

5000～6000 年前から、現在でも Chao Phraya 川の源流となっている、Pasak 川、Ping 川、Wang 川、Yom 川、Nan 川沿いに人々は生活をし、そこから地域社会が発展していった。その後も、時の王の下、農業用水路、洪水防御のための堤防の建設が恒常的に行われていた。このように、本流域における水資源開発の歴史は非常に古い。

“Chao Phraya River”として認識され、組織的に本流域における水資源開発が始まったのは、1893 年の Ayutthaya 王国の設立からである。その頃の Ayutthaya は Chao Phraya 川、Pasak 川、Lop Buri 川が流れ込み形成された“島”であった。次第に Ayutthaya は社会経済的な中心となり、外洋への便利な港となった。米は中国や周辺諸国へ輸出されていた。そのため、河川の掘削や河川をつなぐ水路の建設などによって大型の船も通れるようになっていた。Ayutthaya 期の終わり頃には、至る所で水管理システムが構築されていた。

その後も、農業や飲料水のための水資源開発、船交通のための水路網の建設が行われた。

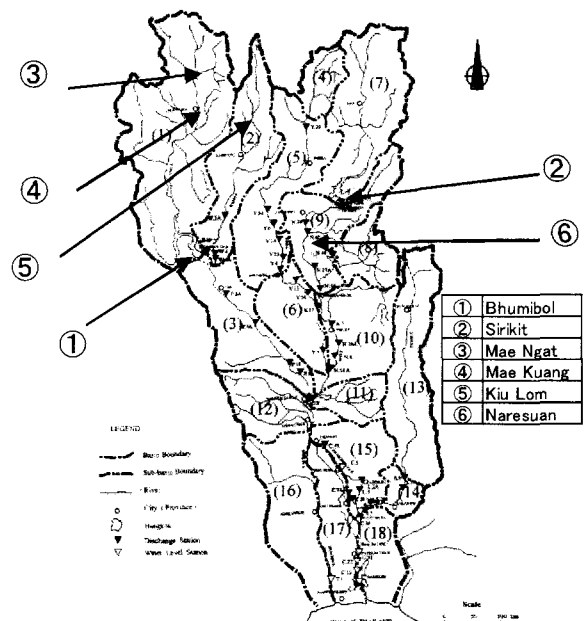


図-3 Chao Phraya 川流域内の主要な水文観測地点と
ダムの位置

何れの王も、Chao Phraya 川流域の水資源開発の重要性は認識し、積極的な政策を行ってきた。

行政的組織としては、オランダ人技術者 Yehonman vander Heide によって、1902 年に“Canal Department”が農業省の下部組織として発足した。その後 1914 年に“Krom Thod Nam or Barrages Department”，そして 1927 年に“Royal Irrigation Department”（以降、“RID”と略す）と改名され現在に至っている。その名の通り、灌漑目的の水資源開発が主な仕事であり、プロジェクトの全てを管轄する組織である。治水は内務省の管轄である。

現在、9 つの省の下、30 以上の機関によって、タイ国内の水資源開発を行っている。そのまとめ役として期待され、“Ministry of Water Resources and Environment”が 2002 年に組織された。

(2) Chao Phraya 川流域とダム建設

図-1 に東アジアに位置するタイ王国を示す。タイ王国はインドシナ半島のほぼ中央、北緯 5～21 度、東経 97～106 度に位置し、西と北にミャンマー、北東にラオス、東にカンボジア、南にマレーシアと国境を接している。面積は約 51.4 万 km^2 である。中部平野地域、東部海岸地域、東北部高原地域、北部および西部山岳地帯、南部半島地域の 5 地域に区別され、国土の大半を平野部が占めている。

図-2 はタイ国内に位置する Chao Phraya 川流域を示している。流域面積は 157,925 km^2 で同国の約 30% を占め、29 の県に跨る同国最大の流域である。

図-3 に示したのが、Chao Phraya 川流域内の主要な

表-1 BhumibolダムとSirikitダムの諸元

Name	Bhumibol	Sirikit
Purpose	Irrigation Power Generation Flood Control	Irrigation Power Generation Flood Control
Under Operation by	EGAT	EGAT
River	Ping	Nan
Drainage Area(sq. km)	28,386	13,130
Annual Inflow(MCM)	5,256	5,600
Annual Inflow(mm)	199.2	427.5
Storage at max. water level(MCM)	13,482	10,508
Reservoir Surface Area(sq. km)	316.0	260.0
Dam Type	Gravity Arch	Earthfill

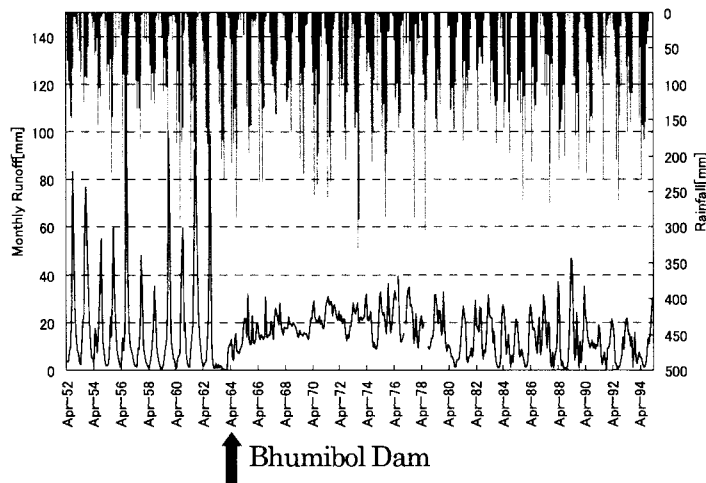


図-5 Bhumibolダム直下流 (P.12 地点) における月流出量と Basin1 における流域平均月降水量の経年変化

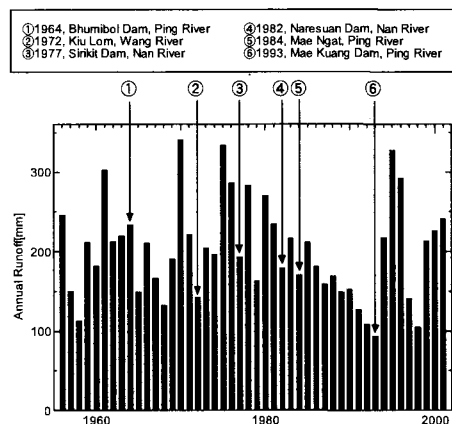


図-4 Nakhon Sawan における年流出量の経年変化と主要ダムの建設年

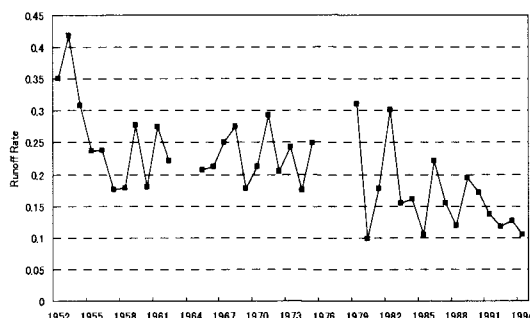


図-6 Bhumibolダム直下流 (P.12 地点) における年流出率の経年変化

水文観測地点、ダムの位置である。地形的には、北部の上流域は山岳地帯、中流域は氾濫原、下流域はデルタである。北部から流れる Ping 川 (36,018k m³)、Wang 川 (11,708k m³)、Yom 川 (24,720k m³)、Nan 川 (34,557k m³) が中流域に位置する Nakhon Sawan で合流し、さらに Ayutthaya で東から流れる Pasak 川と合流し、タイ湾へ流れ出る。

1957 年、世界銀行の援助によって、タイ王国初の大規模かつ多目的ダムの建設が認められた。そして 1964 年、タイ王国初の多目的大ダムとして、Ping 川上流に国王の名を取った Bhumibol ダムが建設された。次に、1961 年、Nan 川に同様規模の多目的ダムを建設することが政府によって承認され、1977 年、Nan 川上流に女王の名を取った Sirikit ダムが完成した。両ダムの主な特徴を表-1 に示す。両ダムは EGAT(Electricity Generating Authority of Thailand: タイ電力公社)が管理・運営するものであり、その主目的は発電であるが、RID との協議により灌漑用にも運用している。運用目的は、発電、灌漑、治水であり、その目的全てを達成しないとタイ王国の経済発展に支障をきたすことは言うまでもない。

本流域内では、中規模、小規模のダムは数多く建設されているため、本稿では、Nakhon Sawan より上流における中規模のダムについて図-3 に示している。さらに図

4には Nakhon Sawan における年流出量の経年変化と大規模のダムの建設年を示した。70 年代後半から 90 年代前半にかけての流出量の減少傾向は、土地利用の急激な変遷にあると考えられ³⁾、それを誘発したのは、灌漑用ダムの建設と考えられる。一方で、1990 年代後半以降の年流出量は、1970 年代以前のそれとほとんど変わらない。その理由として挙げられるのは、偏ったダムの配置である。大規模ダム 6 つのうち、3 つが Ping 川、2 つが Nan 川、Wang 川が 1 つ (しかも本川上ではない) で Yom 川には一つも無い。そのため、他の水工施設が少ないことも相まって、Wang 川と Yom 川からはほぼ自然のまま流出していると考えられる。中流域における洪水が多発する理由もここにある。

3. 大ダム建設による流況の変化

(1) Bhumibol ダムによる影響

図-5 に Bhumibol ダムより約 4km 下流に位置する水文観測所 P.12 地点における月流出量と流域平均月降水量の経年変化を示す。降水量については、1952 年から長期的な増減傾向は読み取れない。一方、流出量に注目すると、1964 年の Bhumibol ダム完成後、明らかに流出量が減少している。最大流出量は減少し、最小流出量は増加

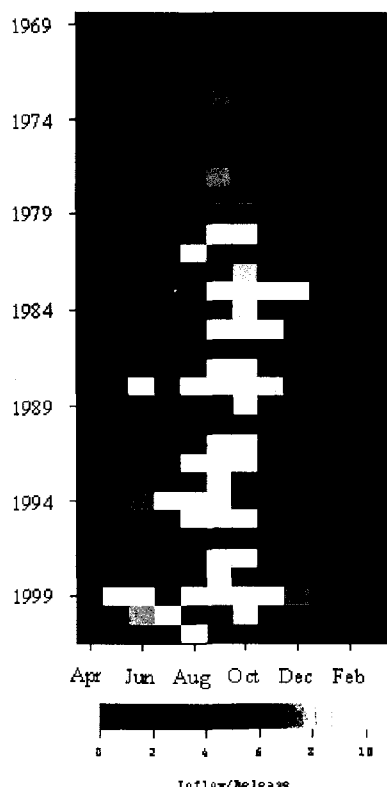


図-7 Bhumibol ダムにおける流入量と放流量の比の経年変化

し、安定的に下流へ水資源を供給するというダムの効果が明瞭に表れている。図-6 は同地点における年流出率の経年変化を示す。ダム建設前後のそれを比較すると、30% 程度減少している。さらに、ダム建設後は経年的に減少を続けている。その要因はダム運用と関わりがあると考えられるため、ダム建設後のダムへの流入量と放流量の比を経年的に描いたのが図-7 である。8 月～10 月にかけて灰色から白色になっているのは、タイはこの時期雨期のため、ダムに溜め込み、11 月～4 月頃にかけて黒色になっていることから、灌漑のために放流量を増加させていることがわかる。ダム建設後から 1979 年頃までは、雨期であっても放流量が多く、1979 年以降は放流量が少なくなっている。

ダム建設前後において、P12 地点の流出量の年変動がどのように変わったのかを示したのが図-8 である。ダム建設前の例として 1952 年の降水量と流出量の一年間の変動パターン、ダム建設後の例として 1992 年のそれらを比較した。降水量を比較すると、どちらも 9 月にピークを迎え、雨期と乾期が明瞭に分かれている。次に流出量を比較すると、ダム建設前は降水量のピークと同様に流出量のピークも 9 月に迎えるのに対し、ダム建設後は、9 月を頂点とした下に凸のパターンを示している。このことから、雨期に水を溜め乾期に使用していることがわ

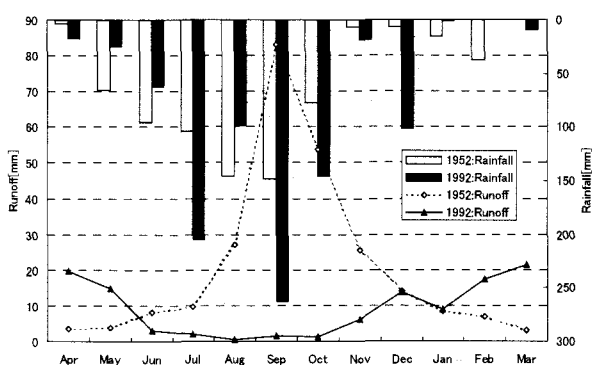


図-8 ダム建設前後における流況の挙動の比較

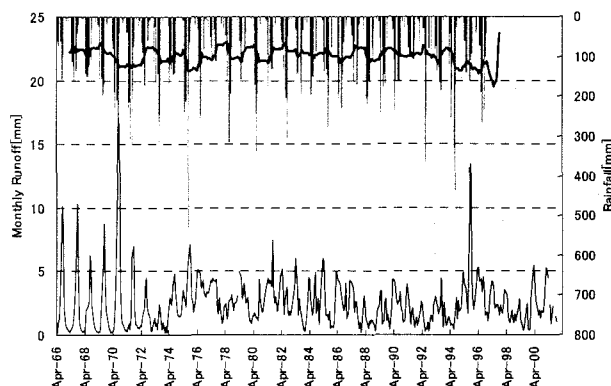


図-9 Sirikit ダム直下流 (N.12A 地点) における月流出量と Basin7 における流域平均月降水量の経年変化 (1997 年からの降水量データは入手できていない。)

かる。

(2) Sirikit ダムによる影響

1977 年に完成した Sirikit ダムが下流の流況に与えた影響を調べるため、ダムから約 3km 下流に位置する水文観測所 N.12A 地点における月流出量と流域平均月降水量の経年変化を図-9 に示す。降水量については、図中の移動平均曲線に着目すると、長期的な増減傾向はないことがわかる。流出量に着目すると、ダム建設直後から最低流出量は増加し、最高流出量は減少した。さらに年流出量に着目した図が図-10 である。図-9 と合わせて考察すると、降水量の季節変動に依存せず下流へ水資源を供給していることがわかる。一方で、年流出量はダム建設前後を比較して、ほとんど変化はない。

(3) Nakhon Sawan における流況の変化

Nakhon Swan は、Ping 川と Nan 川が合流する、Chao Phraya 川流域で最も重要な地点の一つである。Nakhon Sawan は Bhumibol ダムから約 225km、Sirikit ダムから約 325km 下流に位置する観測所 C.2 地点がある。この観測地点における月流出量と流域平均月降水量の経年変化を図-11 に示す。降水量の長期的な増減傾向はみられない。流出量に着目すると、Bhumibol ダム完成後、最

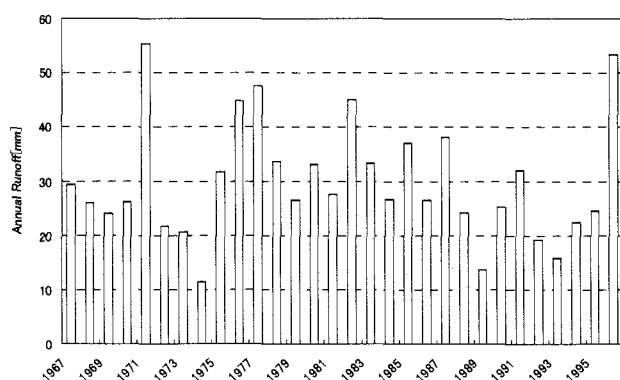


図-10 Sirikit ダム直下流 (N.12A 地点) における年流出量の経年変化

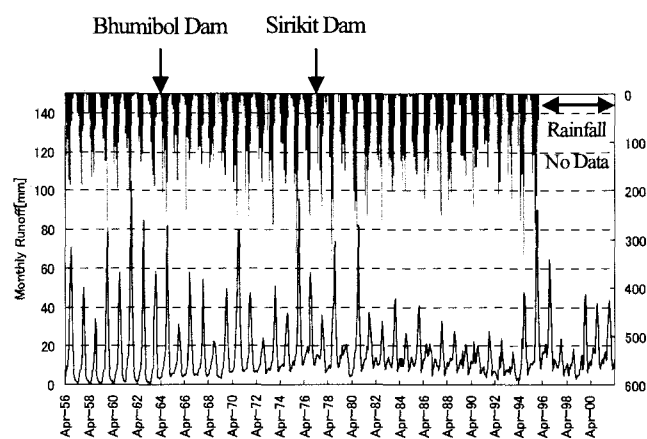


図-11 Nakhon Sawan における月流出量と流域平均降水量の経年変化

(1996 年からの降水量のデータは入手していない。)

低流出量が増加したのに対し、最高流出量に大きな変化は見られない。1980 年代から 1990 年代初めにかけては、最高流出量は減少している。Bhumibol ダム完成前後の最低月流出量を比較すると、ダム建設前の 1956 年～1967 年までの 12 年のうち、22 ヶ月間において月流出量が 2mm 以下であった。一方、ダム建設後にはそのようなことは無く、安定した流量を維持している。最高流出量が減少しない理由は、Wang 川と Yom 川には大規模な水工施設が少なく、コントロールされていない流出があるためであると考えられる。

(4) FFT を利用したスペクトル解析

ダム建設によって日流量の周期特性がどのように変化したのかを高速フーリエ変換 (FFT) を利用して解析を行った。

N 個の時系列データ $f(1), f(2), \dots, f(N)$ に対する高速フーリエ変換は次式の通りである。

$$F(n) = \sum_{k=1}^N f(k) W^{(n-1)(k-1)} \quad (n=1, 2, \dots, N)$$

ただし、 $W = \exp(-i2\pi/N)$ である。

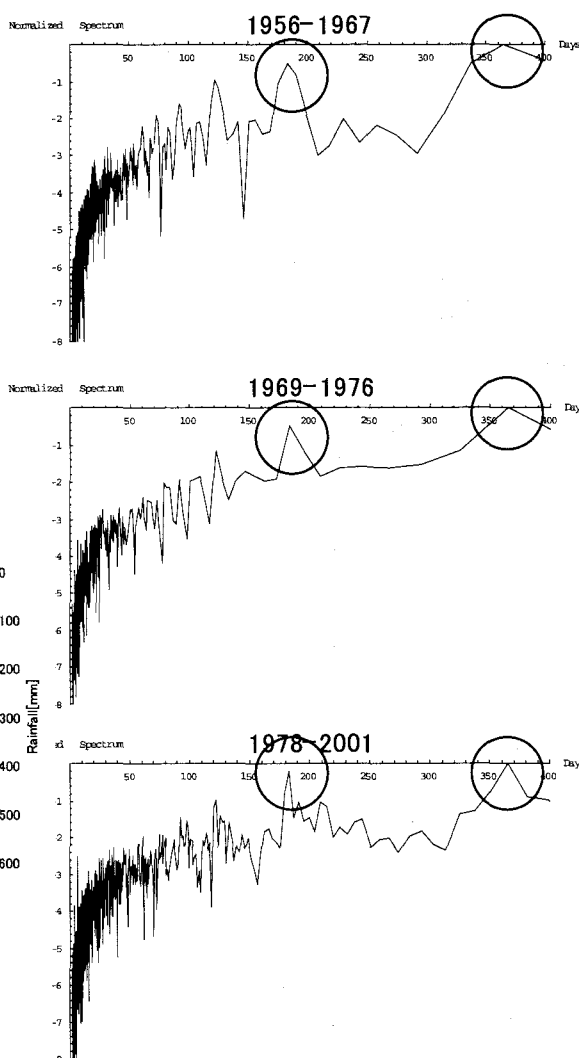


図-12 Nakhon Sawan における日流量のスペクトル特性の経年変化

これを利用して、Nakhon Sawan における日流量データについて、Bhumibol ダム建設前 (1956～1967)、Sirikit ダム建設前 (1969～1976)、2 大ダム建設後 (1978～2001) の 3 時期に分けて周期特性を解析した結果を図-12 に示す。3 時期ともに持つ特徴として、365 日周期、9 月と 7 月にピークを持つ周期が挙げられる (図中の○印)。これは、降水量が 7 月と 9 月の二つの山をもつ年周期によるものと考えられる。次に、2 大ダムが完成後の 1978 年～2001 年までの短い周期特性に注目したのが図-13 である。この図から 3.5 日と 7 日の二つに周期特性が見られる。これは明らかに人間活動に因るものであると推察できる。7 日周期については、沖 (2002) が大規模貯水池の操作によるものと示唆しているもので、その可能性の一つとして考えられる Bhumibol ダムの影響に着目して、日放流量についてスペクトル解析を行った結果が図-14 である。その結果、2.5 日、3.5 日、7 日の周期を持つことがわかった。このように、人間活動であるダム操作に

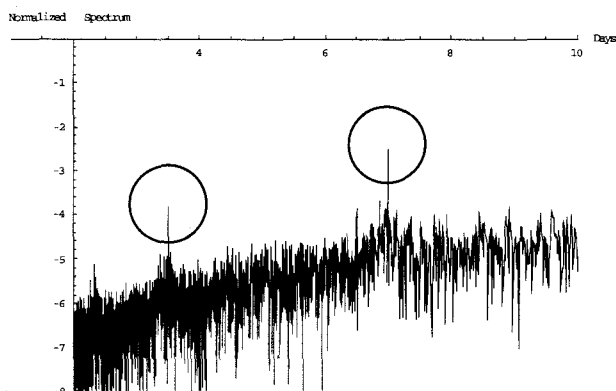


図-13 1978～2001年までのNakhon Sawanにおける日流量の低周波スペクトル特性

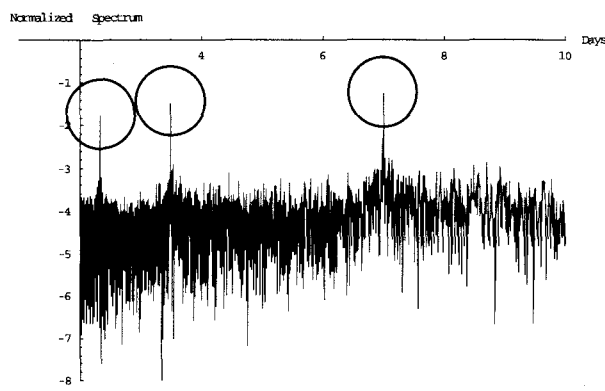


図-14 Bhumibolダムにおける日放流量の低周波スペクトル特性

よって下流の流況が影響を受けている顕著な例と言える。

このような周期性を持つ理由の一つとして、RIDが灌漑必要量を毎週、EGATに要求し、それに応じて放流量操作をしていることが挙げられる。

4. まとめ

タイ王国最大の流域面積を持つChao Phraya川流域は数千年前から社会経済の中心であった。いずれの時代の王もChao Phraya川をコントロールすること、そして水資源の重要性を強く認識していた。1957年のBhumibolダムの完成、1977年のSirikitダムの完成によって、下流の流況への影響は多大であったと推察される。

本稿では、この2大ダム下流における河川流量の変化から、その影響について検討を行った。主な知見を下記に示す。

(1) 1952年から1995年に至るまで、降水量の長期的な増減傾向は見られていない。一方で、Bhumibolダムの建設前後におけるダム直下流の水文観測所の流出量に注目すると、ダム建設前よりもダム建設後は最低流出量が増加し、最高流出量が減少した。これはダム操作により、安定的に水資源を供給するとともに、洪水の発生を減少させている。同様にSirikitダムの直下流にある水文観測所のデータでも同じ傾向が表れている。

(2) Chao Phraya川流域のちょうど中間地点に位置し、Ping川とNan川が合流するNakhon Sawan (C.2)にある水文観測所のデータから、Bhumibolダム建設後直後から最低流出量が増加していることがわかる。一方で、最高流出量は大きく減少してはいない。これは、Wang川とYom川に大規模な水工施設が無いためであると考えられる。

(3) FFTを用いて、Nakhon Sawanにおける日流量のスペクトル解析を行った。その結果、降水現象と同様の傾向と考えられる9月と7月にピークを持つ周期特性が得られた。同時に、3.5日、7日という短い周期特性も得

られた。この要因を探るため、Bhumibolダムの日放流量についてもスペクトル解析を行うと、2.5日、3.5日、7日という短い周期特性が得られた。このことから、Bhumibolダムによって下流の流況に多大な影響を及ぼしていることが考えられる。

最後に、本稿で示した2つの大ダム建設は中流域や下流域における乾期灌漑を促進し、農業生産量の向上を齎し、現在では、生産量の安定化に多大な影響を及ぼしていると考えられる。さらには、水利用の利用形態も大きく変遷している。このように、大ダム建設という大規模な人間活動が水循環へ与えている影響は絶対に無視することができず、今後の流出モデルへの組み込みは必須であると言える。

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：實馨 京都大学防災研究所教授）の成果の一部である。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Royal Irrigation Department (2002): History of water Resources development in Thailand, pp.169-313.
- 2) 手計太一ら (2003) : 2002年のタイ王国・Chao Phraya川流域における洪水, 第58回年次学術講演会講演概要集, pp.107-108.
- 3) 手計太一ら (2003) : Chao Phraya川流域における土地利用の変化が河川流量に与えた影響の実態, 土木学会水工学論文集, 第47巻, pp.205-210.
- 4) 松本淳 (2002) : 東南アジアのモンスーン気候概説, 気象研究ノート, 第202号, pp.57-84.
- 5) 沖大幹 (2002) : GAME-Tの経緯と今後の課題, 気象研究ノート, 第202号, pp.271-301.
- 6) 日野幹雄 (1984) : スペクトル解析, 朝倉書店.
- 7) 日野幹雄・長谷部正彦 (1985) : 水文流出解析, 森北出版.
- 8) 高梨和紘編 (1995) : タイ経済の変容と政策課題, 文眞堂.

(2003.9.30 受付)