

報告

# 2002年のタイ王国・Chao Phraya川流域における洪水

手計 太一\*・吉谷 純一\*\*・Chanchai Suvanpimol\*\*\*

## Flood in 2002 in the Chao Phraya River basin, Kingdom of Thailand

Taichi TEBAKARI\*, Junichi YOSHITANI\*\*  
and Chanchai SUVANPIMOL\*\*\*

### Abstract

The second largest flood in 2002 occurred in the Chao Phraya River basin, Kingdom of Thailand. The field survey was carried out in the middle and lower part of the Chao Phraya River basin two weeks after the peak of the flood terminated. The result indicated that middle basin, especially Ang Thong, Ayutthaya and Sing Buri cities had suffered a heavy damage. In the meantime, there was little serious damage from the inundation by river water in Bangkok city that is located in the lower basin area. The following two factors are mentioned as the reason; (1) In Bangkok, the flood discharge had been reduced by the time it reached the lower basin area because of the overtopping in the middle basin. (2) The flood discharge has been decreasing in the downstream of the Chao Phraya River basin year by year since the Bhumibol and the Sirikit dams were constructed in the upper basin.

In addition, the evaluation of the provability was carried out on the flood in 2002 using the generalization extreme value distribution. The flood was estimated under the 10-year return period discharge and it turned out the flood with the high possibility of occurrence.

キーワード：洪水，一般化極値分布，洪水確率，Chao Phraya川流域，タイ王国

Key words：flood, generalized extreme value distribution, flood probability, Chao Phraya River basin,  
Kingdom of Thailand

\* 独立行政法人科学技術振興機構

Japan Science and Technology Agency

\*\* 独立行政法人土木研究所水工研究グループ

Hydraulic Engineering Research Group, Public Works  
Research Institute

\*\*\* Royal Irrigation Department

タイ王立灌漑局

本報告に対する討論は平成17年2月末日まで受け付ける。

## 1. はじめに

東南アジアに位置する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 (Fig.1)。

タイ王国は 25 の大河川流域を持ち、そのうちの中央部に位置する 8 つの河川流域 (Ping, Wang, Yom, Nan, Sakae Krang, Pasak, Chao Phraya) を合わせて Chao Phraya 川流域と呼ばれている。流域面積 162,800 km<sup>2</sup> を持ち、同国最大の流域である (Fig.1)。本流域はタイ王国全土 (514,000 km<sup>2</sup>) の約 3 分の 1 を占め、全人口の約 40 % が住み、GDP の約 60 % を生み出している。このように、本対象流域はタイ王国にとって社会・経済的に非常に重要であることがわかる。

Fig.2 に示すように Chao Phraya 川流域の河川系は、北部高地から Ping 川 (36,018 km<sup>2</sup>)、Wang 川 (11,708 km<sup>2</sup>)、Yom 川 (24,720 km<sup>2</sup>)、Nan 川 (34,557 km<sup>2</sup>) の 4 つの支川が流れ、Nakhon Sawan で合流し、Chao Phraya 川に流れ込む。そして最下流域において Pasak 川が Chao Phraya 川に合流する。

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、そこは広大で肥沃な土地となり、Chao Phraya 平野の Chao Phraya 川流域と名づけられた。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生まれそして広がっていった。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。

13～14 世紀に Yom 川沿いに栄えた Sukhothai 王国の二大都市 (Sukhothai と Si Satchanalai) は河川堤防の上に建設され、周囲は城壁と堀に囲まれていた。この堀を利用して、雨期に水を溜め、乾期に利用する農業がタイにおける灌漑システムの始まりである。

この頃から、Chao Phraya 川流域における農業用水確保のための水資源開発と洪水から都市や農作物を守る治水対策は、後の王国にとっても大きな政策課題であった (RID, 2002)。

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

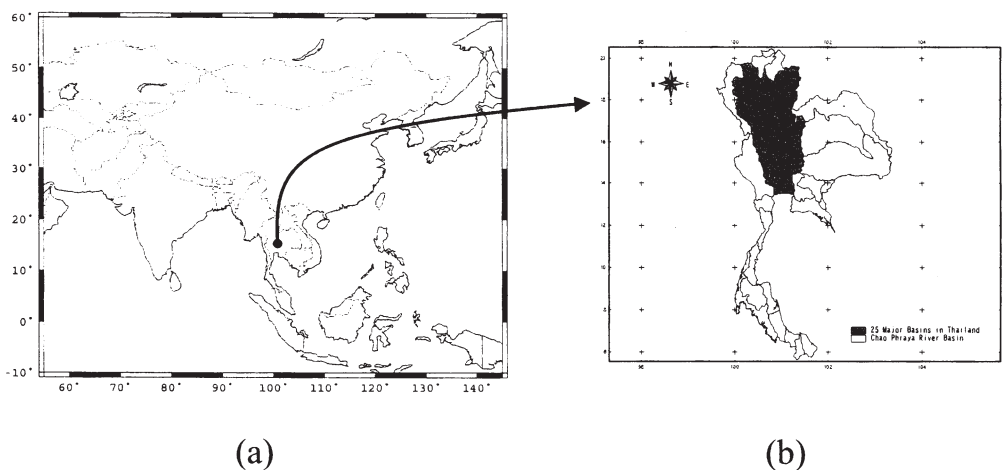


Fig.1 (a) An overview of Southeast Asia and (b) location of the Chao Phraya River basin in Kingdom of Thailand

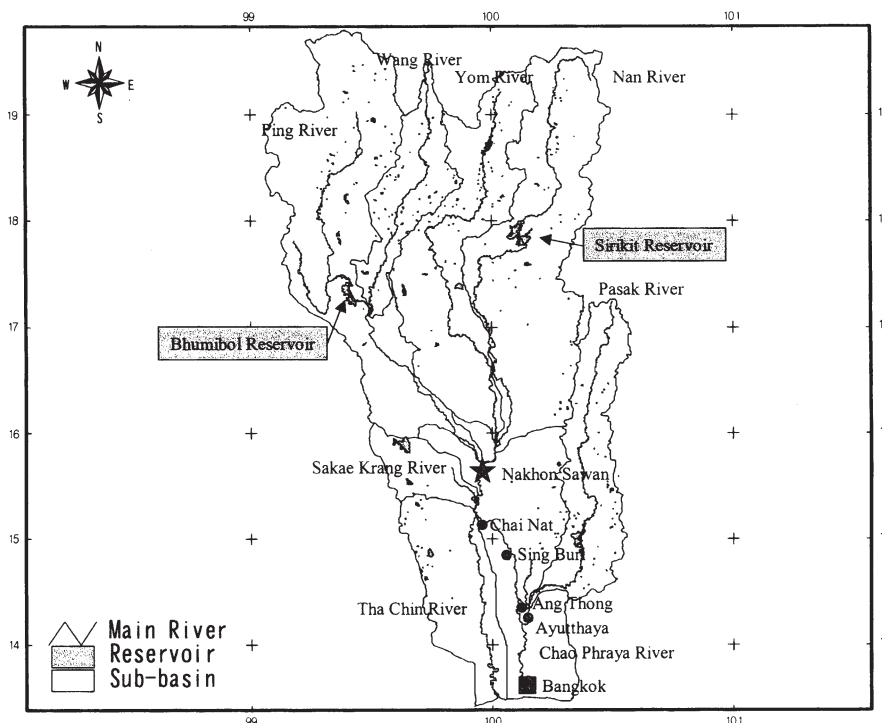


Fig.2 Map of Chao Phraya River basin

Sirikit ダムが完成した。両ダムの主な緒元を Table 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、これまで時の王たちが抱えていた問題を大きく解決に導くものであった。

Chao Phraya 川流域の洪水は大きく以下の 3 つに分けられる。

- A) 山岳域 (例えば, Chiang Mai や Chiang Rai など) におけるフラッシュフラッド
  - B) 中流域 (Nakhon Sawan など) や下流域 (Ayutthaya など) における長期間に亘る洪水
  - C) Bangkok に代表されるような市街地における内水氾濫
- A) については、北部の Ping, Wang, Yom, Nan の上流部で頻発し、死者も多数出ている。タ

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)	26,386	13,130
Annual Inflow(MCM)	5,256	5,600
Annual Inflow(mm)	199.2	427.5
Storage at max. water level(MCM)	13,462	10,508
Reservoir Surface Area(sq. km)	316.0	260.0
Dam Type	Gravity Arch	Earthfill

Table 1 Principal features of Bhumibol and Sirikit dams

イの他の山岳流域においても同様に多発している。B) のような洪水は大流域特有であり、長い時には 2 ヶ月以上も洪水が引かないことがある。一方で、古くからこの洪水を生かして、浮稲による稲作が発達した。C) は特に Bangkok で顕著である。

その要因の1つに「地形」が挙げられる (Fig.3)。Bangkok 市内は Chao Phraya 川よりも低い位置にあり、形状もくぼ地になっている。そこへモンスーン特有の「バケツをひっくり返したような雨」によって降水が溜まり易くなっている。さらに排水施設の不足やその敷設が不適切であることによる排水不良なども相まって、浸水域が拡大するものと考えられる (柳, 1996)。

このように、Chao Phraya 川流域は広大であるため、「いつ」、「どこで」起きた洪水なのか、そしてどのような性質の洪水であったのかは、それぞれによって大きく異なる。本稿では、Chao Phraya 川流域の中流域を中心として、2002年に発生した洪水についてその特性を報告するものである。

Table 2 に 2002 年のタイ国内における主な自然災害の一覧を示す。この中で特筆すべきは、洪水による死者が多いことである。そのほとんどは、北部における鉄砲水や泥流によるものである。このように 2002 年に起きた自然災害の中で洪水は大きな被害を残した。

本稿は、2002 年 10 月から 11 月にかけて行った著者らの現地調査を基に、この洪水の特性について報告する。

## 2. 既往の洪水

近年、本流域においてこれまでに被害の大きかった洪水の年は、1942 年、1978 年、1980 年、1983

年、1995 年、1996 年である。Table 3 に各洪水の主要観測地点における最大流量、最高水位を示す。特に 1942 年は、バンコク市内に位置する Memorial Bridge において、2.27 mMSL を記録し、バンコク市内に壊滅的な被害を与えた。また、1978 年と 1995 年には、7 月から 12 月の 5 ヶ月間に、これまでにない降水量を観測し、最も被害の大きい洪水であった。以下にその 2 つの洪水についての概要を示す。

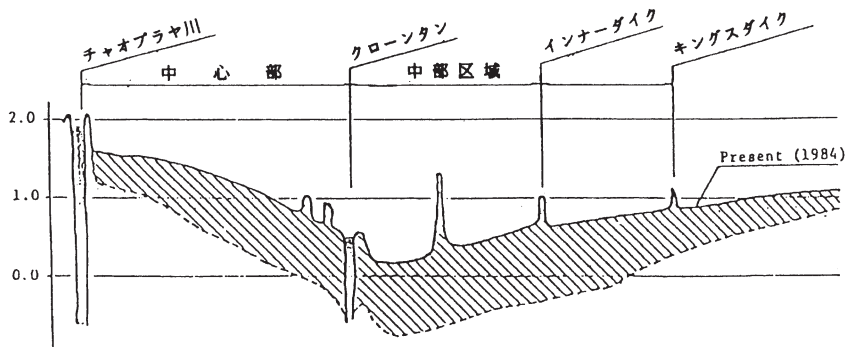
### 2.1 1978 年の洪水

Chao Phraya 川に流入する Nan 川, Yom 川, Ping 川, Pasak 川流域において、1978 年 10 月に豪雨が観測された。Nakhon Sawan (C.2) と Chainat (C.13) において、最大流量 3,500 m<sup>3</sup>/s と 3,800 m<sup>3</sup>/s が観測された。多くの箇所でも越水し、Chainat と Ayutthaya の間では破堤したため、下流にある Ang Thong での流量は 2,900 m<sup>3</sup>/s

災害の種類	災害数	死者数	被災者数	被害額 US\$('000's)
干ばつ	1	0	5,000,000	2,300
洪水	2	154	3,290,920	35,827
地滑り	1	39	500,000	
暴風	2	0	27,500	
合計	6	193	8,818,420	38,127

(Source: ADRC, CRED-EMDAT)

Table 2 List of natural disaster in Thailand in 2002



(柳, 1996)

Fig.3 East-west sectional view of Bangkok city

Year	Maximum Discharge at Nakhon Sawan (C.2) [m <sup>3</sup> /s]	Maximum Water Level at Nakhon Sawan (C.2) [m MSL]	Maximum Discharge at Chainat (C.13) [m <sup>3</sup> /s]	Maximum Water Level at Ayutthaya (S.5) [m MSL]	Maximum Water Level at Memorial Bridge (C.4) [m MSL]
1942	n.a.	n.a.	n.a.	5.15	2.27
1978	3,540	25.33	3,770	4.60	1.99
1980	4,350	25.76	3,800	4.70	1.92
1983	2,290	24.40	3,290	4.54	2.04
1995	4,820	26.12	4,550	5.00	2.20
1996	3,100	25.24	3,250	4.38	2.12

Table 3 Maximum discharge and water level in main observation stations

に減少した。このため、バンコク市内の被害は大きくならなかった。

### 2.2 1995 年の洪水

1995 年の洪水は、Nan 川や Yom 川一帯の約 15,000 km<sup>2</sup> が浸水した。この洪水が上記で挙げた 5 つの洪水と異なる点は、バンコク市内は Chao Phraya 川本川からの被害が少なかったのに対し、市外が多大な被害を受けたことである。本洪水によって、道路や橋など社会基盤の被害は 64 億バーツ (約 224 億円) と推定されている。ただし、この被害額の内には、民家や穀物、工業活動などの被害は含まれていない。

本洪水の原因は 7 月終わりから 9 月の始め頃までの豪雨である。Nan 川, Pasak 川流域における 8 月の降水量は、450 mm, 345 mm を記録した。Nakhon Sawan (C.2) における流量は 4,800 m<sup>3</sup>/s に達し、Chainat と Ayutthaya の間では浮稲地帯や左岸側 (河川が大きく左に蛇行し、左岸の方が右岸よりも低地になっているため) のいくつかの場所で越水したため、Chainat では 4,500 m<sup>3</sup>/s、さらに下流の Ang Thong では 2,700 m<sup>3</sup>/s の低減した流量を観測した。

Sirikit ダムでは、1994 年の流入量の影響でダム水位は 7 月下旬には運用曲線の上限にまで達した。そして 8 月、9 月には上流からの流入によってダムは満水状態になった。9 月には余水吐が 1972 年以來の 2 度目の使用となった。その結果、洪水が下流域にまで及んだ。さらに放水を続けた結果、Sirikit ダムでは 30 億 m<sup>3</sup> の貯水が可能となった。7 月末における Bhumibol ダムではダム

水位は運用曲線よりも下回っており、8 月から 9 月の 2 ヶ月間に 45 億 m<sup>3</sup> を貯水した。もしこれらのダムにこれだけの貯水容量がなければ、Nakhon Sawan において流量は 6,000 m<sup>3</sup>/s にまで達したであろうと、世界銀行は推定している。本洪水については多くの報告書や論文が提出されているので (例えば、CTI and INA, 1999; 柳, 1996), 詳しくはそれらを参照していただきたい。

## 3. 2002 年の洪水

### 3.1 概要

Chao Phraya 川上流や Pasak 川上流では乾期から雨期に入る 4 月から、8 月上旬までは平年程度もしくは平年以下の降水量しか観測されなかった。しかしモンスーンブレイク後の 8 月下旬から 9 月上旬にかけて急激に降水量が増大し (Fig.4), Pasak 川流域では、既往を越える降水量を観測し、Chao Phraya 川と Pasak 川が合流する Ayutthaya 付近では大きな被害に見舞われた。Fig.5 に Chao Phraya 川流域のほぼ中央に位置する Nakhon Sawan における日雨量と 4 月 1 日からの積算雨量を示す。このような 8 月下旬からの急激な雨量の増加は特に流域の東側から中央部で激しかった。Nakhon Sawan は、北部からの 4 つの支川が合流し、そして Chao Phraya 川が始まる地点であり、下流域の洪水予測をするに当たって、非常に重要な地点である。Fig.6 は Nakhon Sawan における水位の時系列である。8 月下旬の雨量の急激な増加に反応して、水位も同様に急激に上昇し、史上 2 番目の洪水に至ったことがわかる。2002 年の洪水被害は、1995 年の洪水被害

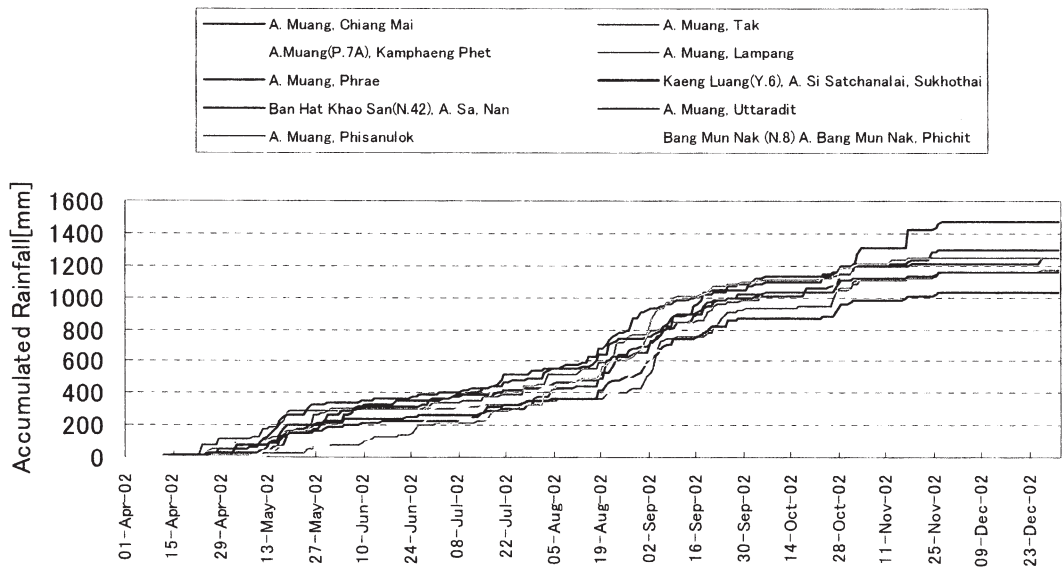


Fig.4 Time series of accumulated rainfall in northern Chao Phraya River basin

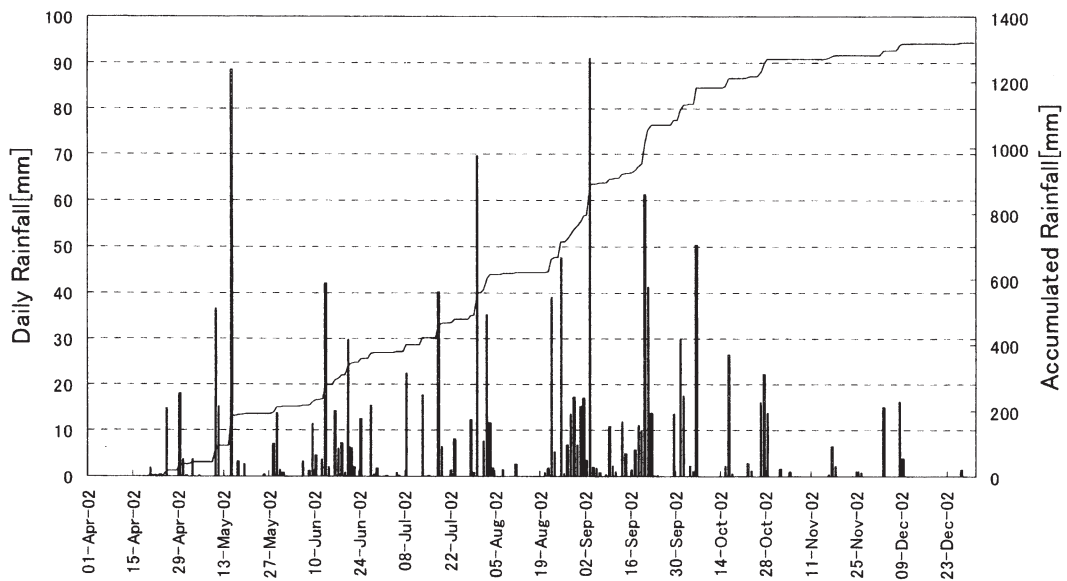


Fig.5 Time series of daily rainfall and accumulated rainfall in Nakhon Sawan

とほぼ同じ地域で起こった。Nakhon Sawan より下流の Uthai Thani, Chainat, Sing Buri, Ang Thong そして Ayutthaya である。なお、

1995 年と同様に Bangkok 市内では大きな被害は受けなかった。国連人道問題調整事務所がまとめた 2002 年 10 月 10 日現在までの被害状況を

Table 4 に示す。死亡者 128 名のうち 66 名は直接洪水によって死亡に至り、その他は地滑りなどによるものである。簡単なヒアリング調査の結果、中流域では約 2 ヶ月程度の避難生活を強いられたものの Bangkok 市内だけは被害をほとんど受けなかった。この要因の一つとして、中流域や Bangkok の手前で氾濫が起きていたため、最下流に位置する Bangkok には既に河川流量は低減されたことが挙げられる。さらに、Bangkok 市内はなんとしてでも守るという確固たる政府の方針もあり、そのための防災活動が行われていた。

洪水被害の主要因は、モンスーンブレイク後の急激な雨量の増加によるものであり、当局もその予測はできず対策が遅れた。その対策の遅れの原因として、テレメータシステムの故障、恒常的な予算難のために稼働自体していなかったことが主として挙げられる。さらに、水文観測者(タイ王立灌漑局)がデータを取得し、そのデータを国務省に通達し、国務省が洪水対策をするというタイムラグがあったため対策が後手後手になる要因ともなった。

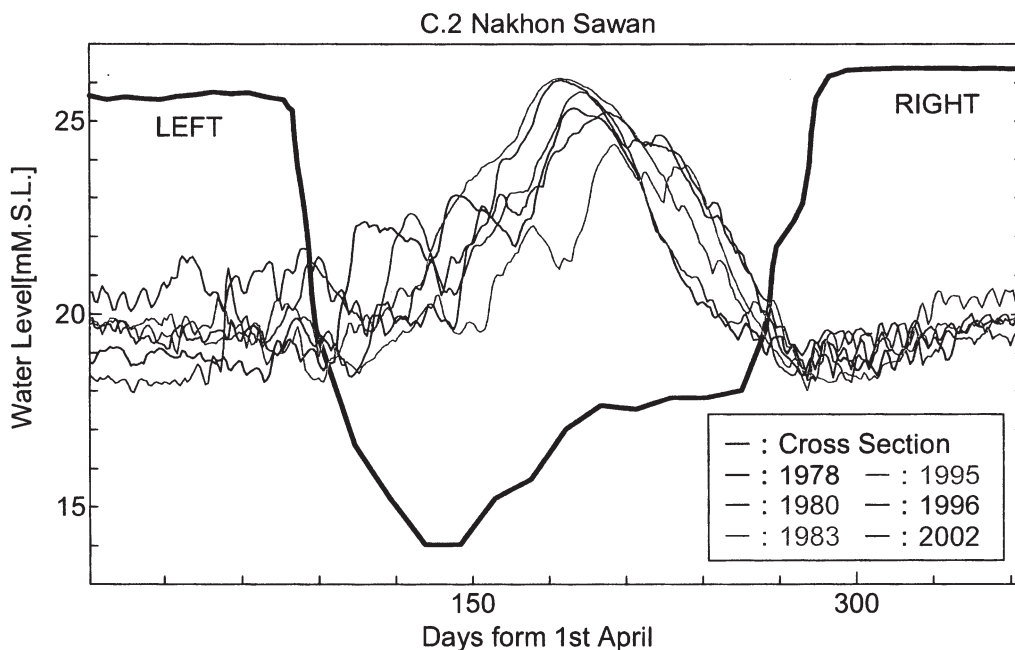


Fig.6 Time series of daily water level in Nakhon Sawan (C.2)

Table 4 Damage conditions of 2002 flood

人的被害	物的被害	その他被害
死亡: 128人	8,881本の道路、355の橋、994のダム、526の排水溝が被害を受けた。	1,453棟の政府の建物、寺、学校が被害を受けた。
負傷/怪我: 62人	家屋倒壊: 1,030世帯	
被害: 891,290世帯から3,289,358人	家屋損壊: 63,303世帯	
避難: 14,351世帯から31,772人		

(国連人道問題調整事務所まとめ)



### 3.2 現地調査

本現地調査は、2002年10月24日から27日の4日間、タイ王立灌漑局（Royal Irrigation Department; 以下RID）のスタッフとともに Bangkok から Nakhon Sawan までの Chao Phraya 川沿い約240 kmを車で北上しながら行われた。代表的な町を挙げると、Bangkok, Ayutthaya, Ang Thong, Sing Buri, Chai Nat, Uthai Thani, Nakhon Sawan の7市である。



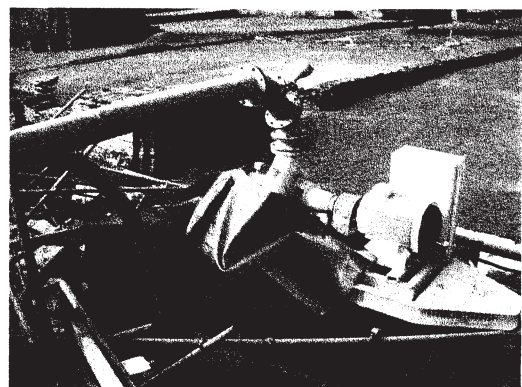
Photo 1 Record of 2002 flood in C.35 hydrological observation station (Ayutthaya)

最初に訪れたのは、Ayutthaya 市に位置する C. 35 水文観測所である (Photo 1)。図中の赤点線は2002年の水位の位置を示している。ここは Ayutthaya 朝時代の遺跡が有名であり、1991年に世界遺産に指定された観光名所でもあるが、慢性的に洪水に悩まされている。Photo 2 は Chao Phraya 川沿いに位置する遺跡である。仮設の堤防が設置され、遺跡内への浸入した水をポンプで排水している。管理者へのヒアリングによると、これらの施設は隣にある寺院への寄付金を利用して自分達で建設会社に工事の発注しているとのことであった。Chao Phraya 川沿いに建てられている古い寺院の多くは、上述と同様に寄付金によって自分達で堤防建設を行っている。Photo 3 は氾濫原の中にある Ayutthaya の遺跡である。一見すると河川に見えるが、これは Chao Phraya 川では無く氾濫原である。Photo 4 も同様に写真右側は氾濫原である。道路は冠水しているため、通行止めになっている (Photo 4 中央)。Photo 5 は氾濫原に位置する家屋である。写真中の家屋は一階部分が完全に浸水している。2階部分は使用可能のため、住人はボートを交通手段の一つとして利用しながら生活していた。

次に Ayutthaya からさらに約20 km北上して Ang Thong 市へ向かう。途中、至るところに Photo 6 のような道路の損壊が見られた。アスファルト舗装下の土壌が侵食されている。Photo 7 は



(a)



(b)

Photo 2 (a) Temporary embankment to defend the ruins and (b) drainage pump in ruins in Ayutthaya



一番氾濫が激しかった Ang Thong 市郊外である。一面湖のようになっている。国道は盛土されて建

設されているため、一種の堤防も兼ねている。そのため、Chao Phraya 川の左岸側に国道がある場

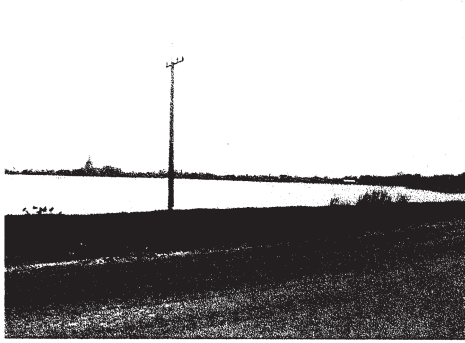


Photo 3 Flood plain and ruins in Ayutthaya

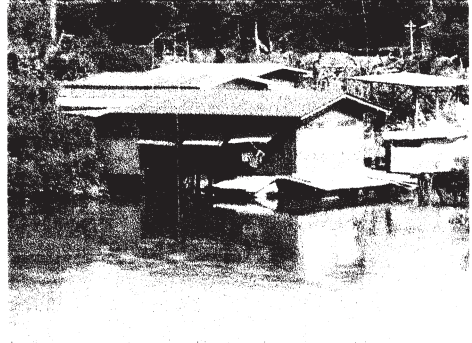


Photo 5 Houses in flood plain in Ayutthaya

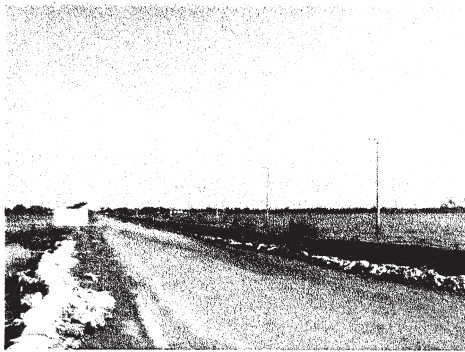


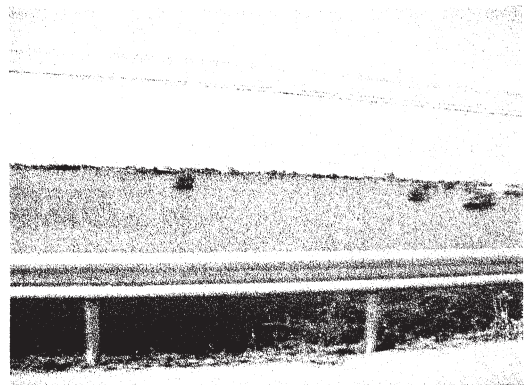
Photo 4 Inundated road and flood plain in the outskirts of Ayutthaya city



Photo 6 The road which was damage by the flood and the flood plain on the outskirts of Ang Thong city



(a)



(b)

Photo 7 The area where the overflow was the most intense (Ang Thong)

合、国道の西側 (Photo 7 (b) の上部) は氾濫しているが、東側は氾濫していない。同様に、Chao Phraya 川の右岸側に国道がある場合は、国道の東側は氾濫しているが、西側は氾濫していないといった現象が起きていた。Photo 8 は Ang Thong 市内の冠水状況を示している。このように少しでも低地になっているところは、至るところで冠水している。現地調査に行った時には、もう既に水が引き始めていたため、土嚢が散乱した状態になっていた。

Ang Thong からさらに約 35 km 北上すると Sing Buri 市がある。Photo 9 は Chao Phraya 川に設置された仮設の堤防とさらにその上に詰まった土嚢を示している。市街地には自治体政府による

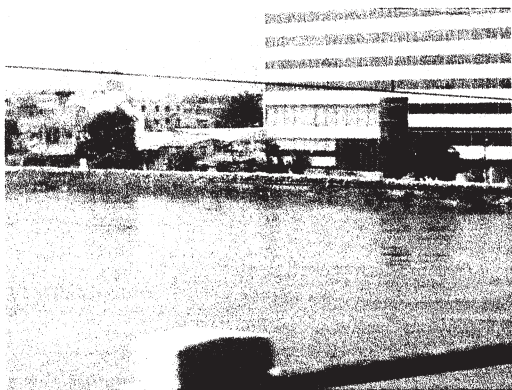


Photo 8 Flooding situation in Ang Thong city

る堤防が建設されているものの、少し離れた郊外ではこのような光景は見られない。Sing Buri 市より上流の無堤部から越水した氾濫水が市内へ流入した。Photo 10 はその状況を示す。同写真が示すように、表面の舗装下の土壌が侵食され道路が損壊している。Photo 11 は Sing Buri と Chai Nat の間の国道上に設置された仮設の給水施設である。このような施設は至るところに設置されている。Photo 12 の中央のテントは、国道上に建てられた仮設住宅、商店である。テントは政府より貸与されている。このような施設は片側一車線の国道の半分を占めているため、しばしば渋滞が起きている。この写真も渋滞中に撮影したものである。

Photo 13 は Nakhon Sawan (C.2) 水文観測所における 1995 年の洪水の記録 (赤いライン) と 2002 年の洪水の痕跡 (茶色い部分) を示している。1995 年の洪水は記録的であり、このようなマーキングは他の水文観測所でもしばしば見かける。

RID では下流域における洪水予報を行うにあたり、一つの目安として、Nakhon Sawan (C.2) における積算雨量を指標としている。Fig.7 は RID 本部が 2002 年に実際に使用していた積算雨量の時系列図である。Ayutthaya で Chao Phraya 川に合流する Pasak 川上流に位置する Phetchabun 市 (S.34 水文観測所) で観測している積算雨量で

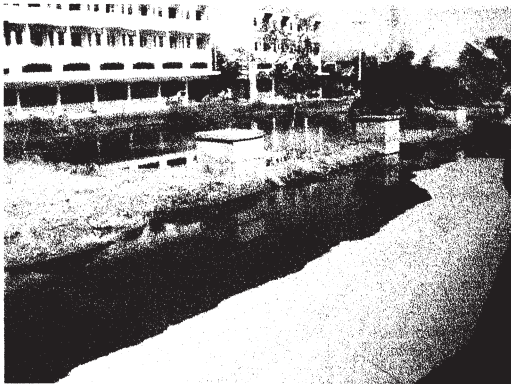


(a)



(b)

Photo 9 Levee of Chao Phraya River in Sing Buri city



(a)



(b)

Photo 10 The road which was damaged by the flood in Sing Buri city

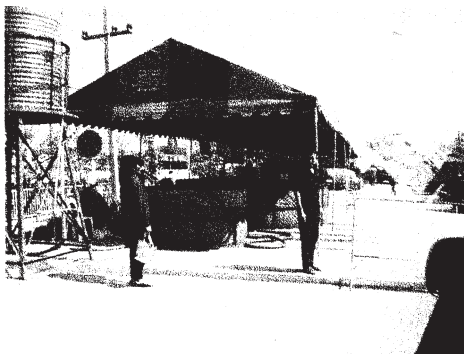


Photo 11 Temporary water supply system was installed on the national road



Photo 13 Record of 1995 flood in C.2 hydrological observation station (Ayutthaya) and trace of 2002 flood



Photo 12 Temporary dwellings and stores were installed on the road

ある。RIDではこの図にプロットしながら、簡易的な洪水や渇水対策を行っている。図中赤丸で示した時期に急激に雨量が増加した。これによるPasak川の増水、Fig.4で既に示したようにNakhon Sawan上流域における同様の雨量の増加に起因する河川の増水によって、2002年の洪水は起きた。

### 3.3 2002年洪水の評価

Chao Phraya川本川において、洪水の評価ができる流量観測地点はNakhon Sawan (C.2)の一箇所しかない。現在、本川上には19箇所の水位・



流量観測所があるが、長期に亘り水位を計測しているのは5箇所、また流量を計測しているのは、上流から Nakhon Sawan (C.2), Chai Nat (C.13), Uhtai Thani (C.30) の3箇所のみである。その中でも Chai Nat (C.13) は Chao Phraya ダム

(1957年完成)の直下にあり、影響を排除できないため、洪水の評価はできない。また、Uhtai Thani (C.30) は支川であるため、これも同様に Chao Phraya 川の洪水の評価はできない。

Fig.8 は Nakhon Sawan (C.2) における 1956

Accumulated Rainfall in Phetchabun, Pasak River in 2002

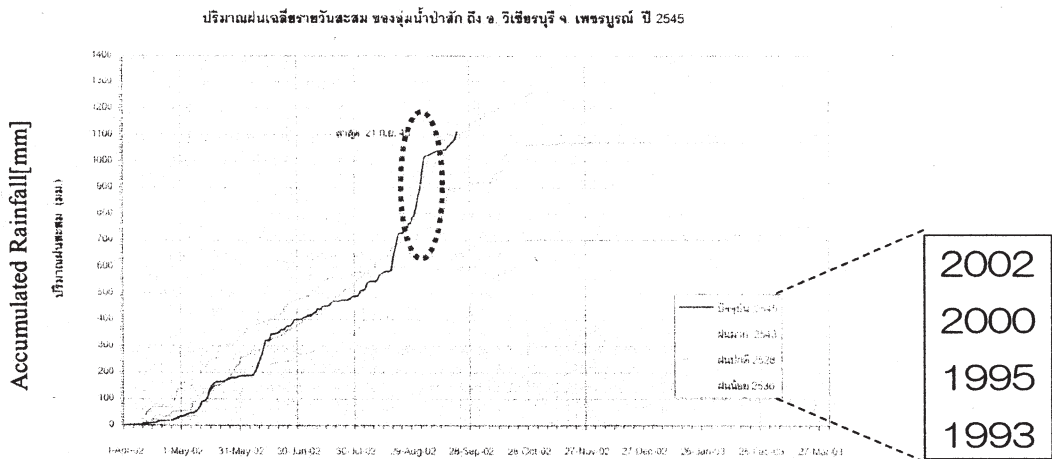


Fig.7 Time series of accumulated rainfall used by Royal Irrigation Department headquarter in 2002

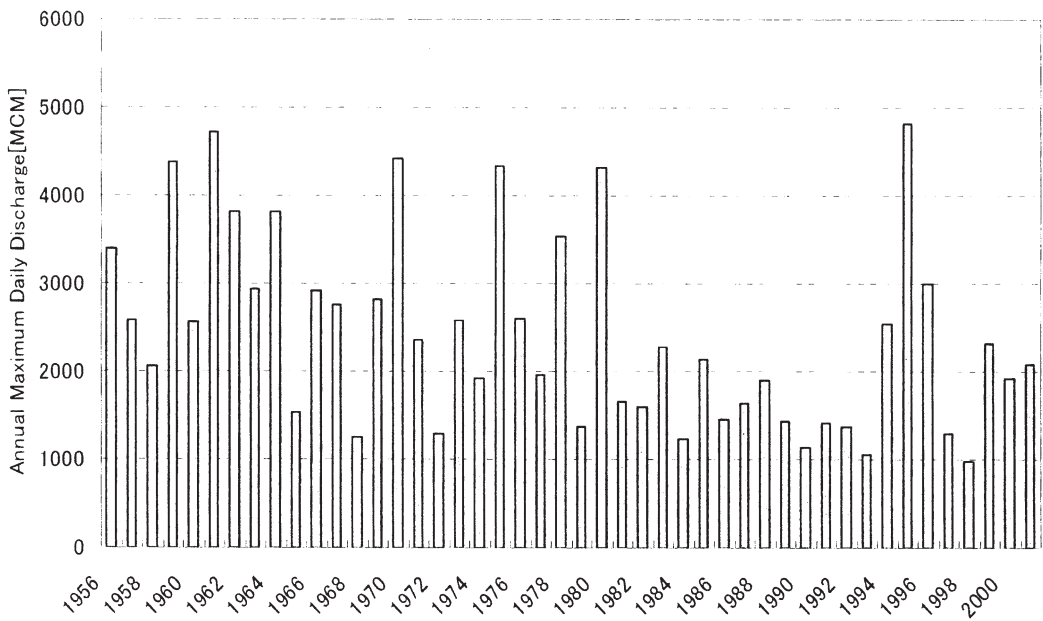


Fig.8 Annual peak discharge in Nakhon Sawan (C.2)

年から 2001 年までの年最大日流量の経年変化である。1980 年代、流量が少ない傾向にある。次のこの Fig.8 のデータから一般化極値分布 (GEV 分布) を用いて確率流量を求めた。なお、Bhumibol ダムの建設期間 (1961 年~1964 年) と Sirikit ダムの建設期間 (1968 年~1972 年) を除いた。一般化極値分布 (GEV 分布) の分布関数は次式の通り定義できる (例えば星, 1997)。

$$F(x) = \begin{cases} \exp\left\{-\left[1-\frac{k(x-c)}{a}\right]^{\frac{1}{k}}\right\} & (k \neq 0) \\ \exp\left\{-\exp\left[-\frac{x-c}{a}\right]\right\} & (k = 0) \end{cases} \quad \dots(1)$$

ここで、 $c$  は位置母数、 $a$  は尺度母数、 $k$  は形状母数である。

標準変数  $s$  は、

$$F(x) = \exp\{-\exp(-s)\} \dots\dots\dots (2)$$

$$s = \begin{cases} -\frac{1}{k} \ln\left\{1-\frac{k(x-c)}{a}\right\} & (k \neq 0) \\ \frac{x-c}{a} & (k = 0) \end{cases} \quad \dots\dots (3)$$

である。

母数推定には  $L$  積率法と PWM 法 (Probability Weighted Moments ; 確率重みつき積率) を用いた。確率重みつき積率の定義は次の通りである。

$$\beta_r = E\{X[F(X)]^r\} = \int_0^1 xF^r dF \quad (r = 0,1,2,\dots) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\hat{\beta}_r = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{(j)} \{F(x_{(j)})\} \quad (r = 0,1,2,\dots) \quad \dots\dots (5)$$

$L$  積率と PWM は次式で関係づけられる。

$$\begin{cases} \lambda_1 = \beta_0 \\ \lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \\ \lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \end{cases} \quad \dots\dots\dots (6)$$

従って、 $L$  積率は次式で与えられる。

$$\begin{cases} \lambda_1 = c + \left(\frac{a}{k}\right) [1 - \Gamma(1+k)] \\ \lambda_2 = \left(\frac{a}{k}\right) (1 - 2^{-k}) \Gamma(1+k) \dots\dots\dots (7) \\ \frac{2\lambda_2}{\lambda_3 + 3\lambda_2} = \frac{1 - 2^{-k}}{1 - 3^{-k}} \end{cases}$$

ここで、 $\beta_r$  は確率重みつき積率 (PWM)、 $E\{\cdot\}$  は期待値演算子、 $F(X)$  は確率変数  $X$  の分布関数、 $x_{(j)}$  は  $N$  個の標本を大きい順に並べ替えた時の小さい方から  $j$  番目の値、 $\hat{\beta}_r$  は標本による PWM の推定値、 $F(x_{(j)})$  は  $x_{(j)}$  のプロッテリング・ポジション、 $\lambda_r$  は  $L$  積率、 $\Gamma(\cdot)$  はガンマ関数である。

上述の一般化極値分布を用いて得られた確率流量の計算結果を Table 5 に示す。解析は次の 3 期間に分けて行った。1956 年~1962 年のほぼ自然の状態、1973 年~2001 年の 2 つの大ダム建設後、1956 年~2001 年の観測期間全てである。ダム建設前後を比較するために 10 年確率に着目すると、ダム建設後の確率流量は約 30 % 減少している。ダム建設の影響が如実に表れている。

また、2002 年の最高水位と日最大流量はそれぞれ 26.07 mMSL と 3,997 m<sup>3</sup>/s であった。この値は Table 5 のダム建設後の期間 (1973~2001) の 10 年確率程度であり、極めて頻繁に起きる可

**Table 5** Results of the 10-, 20-, 30-, 50-, 100-, 200-year peak discharge using the generalized extreme value distribution in Nakhon Sawan (C.2)

Period	(Unit: m <sup>3</sup> /s)		
	1956-1962	1973-2001	1956-2001
10y	4969.3	3402.1	3910.1
20y	5697.1	4166.1	4602.2
30y	6122.9	4659.1	5011.4
50y	6662.6	5336.8	5534.8
100y	7403.9	6371.7	6261.9
200y	8158.0	7560.0	7011.4

能性のある洪水であったことがわかる。

さらに Table 6 は Nakhon Sawan (C.2) における最大流量と最高水位の順位を 1 位から 11 位まで並べたものである。この表と前述した 2002 年の最大流量、最高水位を比較すると、水位に着目した場合には、2002 年の水位は 1995 年に次いで史上 2 番目に高い。一方、流量に着目した場合には、2002 年の流量は 7 位に位置している。これについては 1965 年を境にした Nakhon Sawan (C.2) における水位と流量の計測方法の変更や水位-流量曲線の作成を低水時の年 1 回しか行っていないことに因ることが挙げられる。

#### 4. まとめ

本論文ではタイ王国にとって社会・経済的に最重要流域である Chao Phraya 川流域におけるこれまでの洪水の概要と 2002 年に発生した洪水について、その被害状況も含めて報告した。2002 年の洪水はタイ史上最大であった 1995 年の洪水に匹敵する規模であり、水位に着目すると史上第 2 位であった。その被害も甚大であったことがわかった。確率流量の算出の結果、10 年に 1 回以下の洪水であり、過去と比べてもそれほど大きいものとは言えないものの、水位データからは明らかに本川より越水しているため、きちんと流量に反映されていない可能性が高い。

中流域では、2 ヶ月以上も水が引かず、農作物や市民生活に多大な被害をもたらした。このよう

に、中流域における氾濫が、最下流に位置する Bangkok への洪水被害を防いでいるといっても過言ではない。

最後に、中流域における洪水被害者への補償は当初、現物支給と決まったものの、最終的には現金による補償となった。

#### 謝 辞

本研究は科学技術振興機構・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。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- CTI Engineering International Co., LTD and INA Corporation: The study on integrated plan for flood mitigation in Chao Phraya River basin, JICA report, 1999.
- Japan International Cooperation Agency: Flood forecasting system in the Chao Phraya River basin, JICA Report, 1988.
- 松本 淳：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, 2002.
- 沖 大幹：GAME-T の経緯と今後の課題，気象研究ノート，第 202 号，pp.271-301, 2002.
- Royal Irrigation Department: History of water Resources development in Thailand, pp.169-313, 2002.
- 星 清：水文頻度解析，水文・水資源ハンドブック，水文・水資源学会，朝倉書店，pp.238-249, 1997.
- 高梨和紘編：タイ経済の変容と政策課題，文眞堂，1995.
- 手計太一・吉谷純一・Virat Khao-Uppatum・Chanchai Suvanpimol：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，水工学論文集，第 47 巻，pp.205-210, 2003.
- 手計太一・吉谷純一・木内 豪：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, 2003.
- 柳 雄：バンコクの洪水対策，河川，No.594，pp.63-70, 1996.

(投稿受理：平成14年10月19日  
訂正稿受理：平成15年3月15日)

Table 6 Ranking of maximum discharge and water level in Nakhon Sawan (C.2)

Ranking	Year	Maximum Discharge [m <sup>3</sup> /s]	Year	Maximum Water Level [mMSL]
1	1995	4820	1995	26.12
2	1961	4712	1970	25.83
3	1970	4420	1980	25.76
4	1959	4390	1961	25.71
5	1975	4336	1975	25.59
6	1980	4320	1959	25.52
7	1964	3825	1978	25.33
8	1962	3812	1996	25.24
9	1978	3540	1962	25.19
10	1956	3392	1964	25.17
11	1996	3002	1956	24.82