

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

Trend analysis of land use change effect on discharge in the Chao Phraya river basin

手計太一¹・吉谷純一²・Virat Khao-Uppatum³・Chanchai Suvanpimol³
Taichi TEBAKARI, Junichi YOSHITANI, Virat Khao-Uppatum and Chanchai Suvanpimol

¹正会員 工修 (独) 土木研究所 (CREST/JST) (〒305-8516 茨城県つくば市大字南原 1 番地 6)

²正会員 工修 (独) 土木研究所水工研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市大字南原 1 番地 6)

³タイ王立灌漑局 (811 Samsen Road, Dusit Bangkok 10300, Thailand)

Local scientists and engineers in Thailand have recognized and pointed out a decreasing trend in discharge in the Chao Phraya river in recent years. However, no solid data or analysis to show a decline has been reported. This study is to find trends in river discharge data and to analyze significant causes of the trend. The following results were obtained: (1) As a result of examining discharge at 10 gauging stations in the Chao Phraya river basin, the significant decline of the annual discharge is found at 8 stations out of the ten; (2) 17 out of 18 sub-basins of the Chao Phraya river basin have no tendency in annual rainfall change, but the only one sub-basin in the upper Yom river basin has tendency of declining rainfall according to the Kendall rank test at 95% significance level; (3) and it is considered that major cause of the discharge decline is a change of the land use to cropland such as the orchard from paddy field rather than rainfall.

Key Words: Chao Phraya river basin, land use change, Kendall rank correlation, irrigation

1. はじめに

著者らは、タイ王国の中央に位置するChao Phraya川流域を対象として、社会変動が水資源・水循環への影響の評価を試みようとしている。

タイ王国では1960年代から始まる平場農村の人口対策と畑作振興を目的とした開拓、入植政策によって森林破壊が進行した。それによって森林面積は減少をつづけ、水田、耕作地が増加していった。

研究対象としているChao Phraya川流域の位置する中央平原と北部地域は、タイ国内では最も米の生産量が多い。この流域はPing川、Yom川、Nan川の3つ源流がもたらす肥沃な沖積平野で、かつ高い灌漑比率によって雨期はもちろん、乾期にも栽培が可能であるという恵まれた生産条件にあった。しかし、特に中央平原において、1980年代から近年にかけて工業化が急速に進み、水田面積が急激に減少している。このように、50年足らずの間に、急激にかつ大規模に土地利用形態が変化した大流域は少なく、水資源・水循環に与える影響は大きいものと考えられる。

近年、タイにおける水文・水資源の研究者や技術者の間から、Chao Phraya川流域の河川流量が減っていると

問題視されている。さらに最近の研究によっても、1970年代以降、Nakhon Sawanにおいて流量が経年的に減少していることを報告し、その要因が社会変動によるものではないかと推察している¹⁾。

このような状況を鑑み、本研究では1970年から1990年までの21年間における土地利用形態の変遷が河川流量へ与えた影響の評価を試みた。

2. 対象流域

図-1にタイ王国内におけるChao Phraya川流域の地図を示す。その流域面積は162,800km²であり、タイ王国全土(514,000km²)の約3分の1を占めている。この流域は次に示す3つの水文学的地形特性から成る。(a)上流域は北部高地、(b)中流域は氾濫原、(c)下流域はChao Phrayaデルタである。Chao Phrayaデルタはとても平坦で、その勾配は約2/100000である。

Chao Phraya川流域の河川系は、北部高地からPing川(36,018km²)、Wang川(11,708km²)、Yom川(24,720km²)、Nan川(34,557km²)の4つの支川が流れ、Nakhon Sawanで合流し、Chao Phraya川に流れ込む。また最下流域においてPasak川がChao Phraya

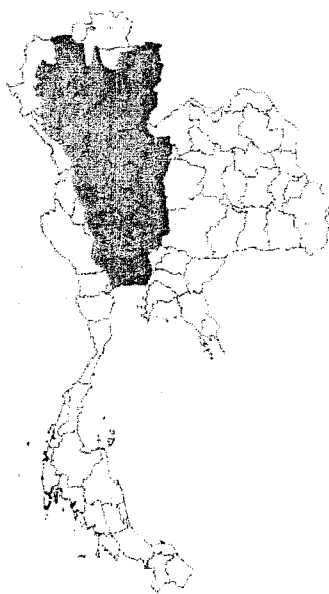


図-1 タイ王国とChao Phraya川流域

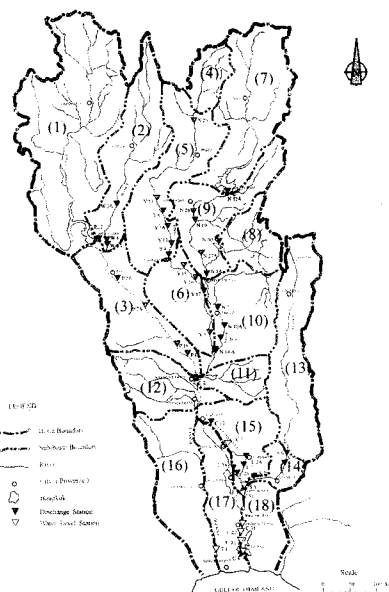


図-2 Chao Phraya川流域とそのサブ流域分割図

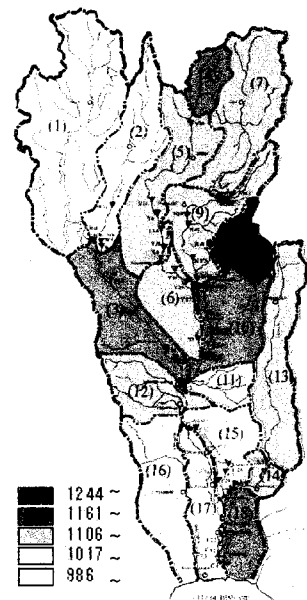


図-3 1970年～1990年までの21年間の平均降水量の地域分布

川に合流する。

3. データ

(1) 水文データ

雨量と流量データは王立灌漑局 (Royal Irrigation Department ; RID) で計測している日単位のデータを使用した。RIDではChao Phraya川流域内に227箇所の水文観測所, 1083箇所の雨量観測所を設けており, 古いところでは1920年代からの観測データが存在する。

本解析においては, 1970年から1990年までの21年間, 欠測なくデータが存在する地点を選び解析を行った。雨量は図-2のようにChao Phraya川流域を18のサブ流域に分割し算術平均を行ったサブ流域毎の流域平均雨量を算定した。さらに流量は, P7A (Ping川 ; Ban Huai Yang), W3A (Wang川 ; Ban Don Chai), P12 (Ping川 ; Wang Kra Chao), C2 (Chao Phraya川 ; Khai Chira Prawat), C7A (Chao Phraya川 ; Ban Bang Kaeo), C13 (Chao Phraya川 ; Wat Pho Ngam), Y4 (Yom川 ; Talat Thani), Y17 (Yom川 ; Sam Ngam), N5A (Nan川 ; Muang), N7 (Nan川 ; Phichit) の10地点における観測データを解析した。

(2) 土地利用, 農業データ

土地利用, 農業データは以下に示す国勢調査資料を使用した。

a) Land Utilization of Thailand 1950/51-1977/78

b) Agricultural Statistics of Thailand

c) Agricultural census in Thailand

d) Statistical Yearbook Thailand

タイ王国においては, 1955年, 1963年, 1978年, 1993年において詳細な農業調査を行っている。さらに全土を4つの地域 (Central region, Northern region, Southern region, Northeastern region) にわけた調査はほぼ毎年行っており, 1950年から現在までにおいてのデータは存在する。しかし, 統計年の前後において整合性のないデータが多くあるのが実情である。そのため, 本解析においては「社会変動」として次の項目のみについて解析を試みた。

ア) Paddy land

イ) Major rice production

ウ) Field crop, Vegetable flowers

エ) Tree crops

オ) Forest land

4. 解析結果

(1) 雨量

Chao Phraya川流域を18のサブ流域に分割した流域面積雨量について以下のような検討を行った。図-3に示すのは1970年から1990年までの21年平均年雨量の地域分布である。全流域の平均雨量は約1100[mm]程度であり, 最大でも約1300[mm]の雨量である。サブ流域(1), (2)の山岳域での雨量は最も少ない。

次に1970年から1990年までの21年間の年降水量について回帰直線を描き, 正負の傾きについて検討を行った。

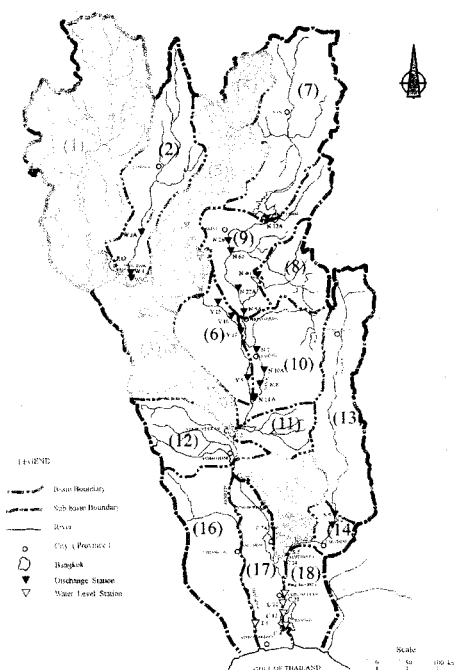


図-4 回帰直線の傾きが「負」に評価されたサブ流域

図-4に「負」の傾きに評価されたサブ流域を示す。図中の灰色に反転したサブ流域(1), (3), (4), (5), (15) (Ping川上中流域, Yom川上流域, Chao Phraya川下流)において減少傾向が表れた。

さらに18のサブ流域の21年間年降水量の経年変化について、それぞれケンドールの順位相関を用いてトレンド検定(95%)を行った。その結果、図-4中のサブ流域(5)のみについて有意な「負」のトレンドがあることがわかった。しかし、その他の17のサブ流域では「正」、「負」とともに有意なトレンドは得られなかった。

最後に各サブ流域毎に雨期と乾期に分けて雨量の経年変化について検定を行った結果が表-1である。有意性が認められるトレンドは3ケースであった。Nan川, Pasak川流域では増加傾向にあり、その他の流域では概ね減少傾向にある。

(2) 流量

河川流量の経年変化を検討するため、Ping川(P7A, P12), Wang川(W3A), Yom川上流(Y4, Y17), Nan川(N5A, N7), Chao Phraya川(C2, C7A, C13)の計10地点の水文観測所のデータを使用した。

第一に1970年から1990年までの21年間の年流量の経年変化について線形回帰直線を引いてそのトレンドを検討すると、解析を行った全10地点において「負」の傾き

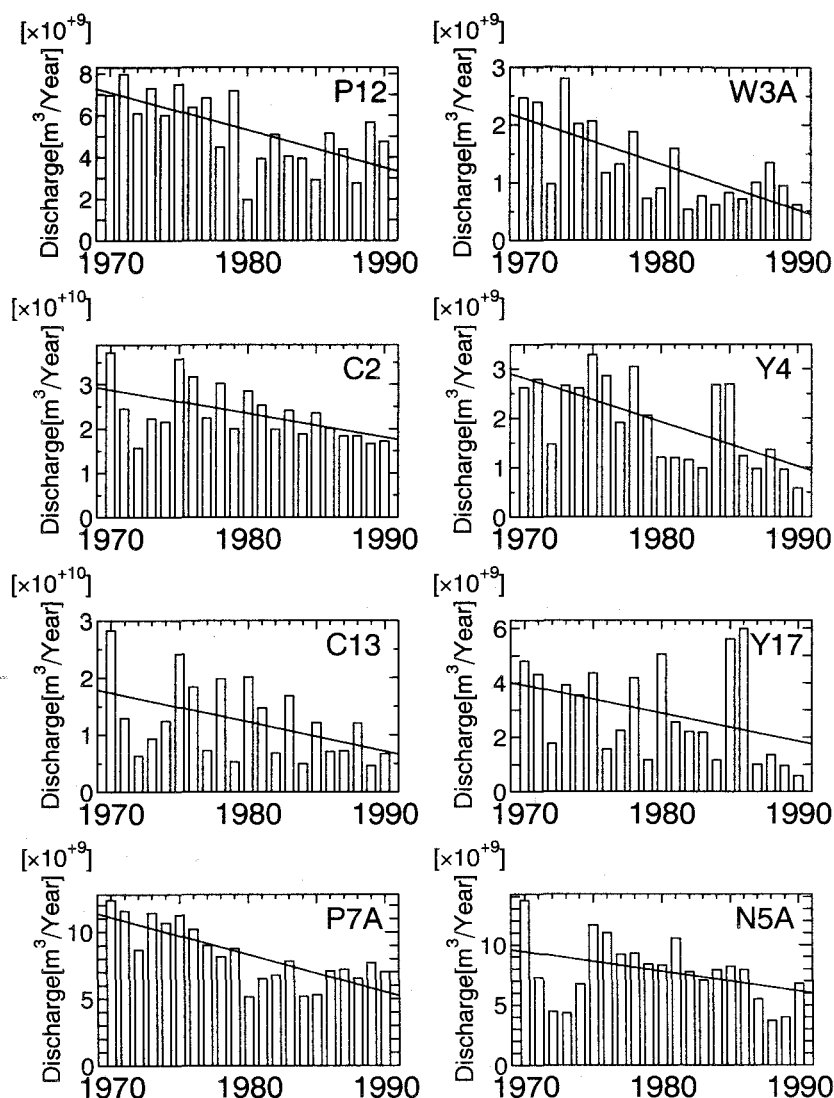


図-5 1970年から1990年までの年流量の時系列とその回帰直線(ケンドールのトレンド検定の結果、有意な減少傾向が得られた8地点)

が得られた。

次に、(1)節と同様にケンドールの順位相関をもちいて21年間の年流量についてのトレンド検定(95%)を行った。その結果、図-5に示す8地点において有意な「負」のトレンドが得られた。年々徐々に流量が減少していることが見て取れる。なお図中の直線は回帰直線である。また検定結果については表-2の通りである。表中のpの値が0.05以下の場合、そのトレンドは「有意」であるということを意味している。さらに表-3では雨期(5月~10月)と乾期(11月~4月)に分けて流量の経年変化について検定を行った結果である。表中の右端の「傾き」とは単に線形回帰させたときの傾きのことであり、雨期と乾期に分けてもほとんどの地点においては減少傾向を示している。雨期についてはその有意性も高いことがわかる。乾期においてはPing川では有意な減少傾向にあるものの、Chao Phraya川, Nan川では有意な減少傾向ではない。

さらに、ケンドールのトレンド検定で得られた結果が地域性を持つのかどうかを検討するため、流域図にその結果をプロットしたものが図-6である。なお、この図に降水量についてのトレンド検定の結果も示した。図中のサブ流域(5)が灰色に反転されており、この流域のみ有意な「負」の結果が得られている。この図から降水量と流量の1970年から1990年までの経年変化には定性的にも、定量的にも有意な関係は見られないことから、流量の経年的な減少は降水量によるものではなく、その要因は他にあるものと推察できる。

最後に流域内の水収支について簡単な検討を行った。単純に降水量から流量を引くことによって損失量を求めた。検討を行ったP12, W3A, Y4, N5A, C2においては損失量の有意なトレンドは無かった。

(3) 土地利用と農業形態

本研究では、Chao Phraya川流域が位置する北部地域(Northern region)と中央平原(Central region)における土地利用、農業形態の経年変化について解析を行った。

図-7は1950年から1995年までのタイ王国全土、中央平原、北部地域における水田面積の経年変化である。タイ政府の開拓・入植政策によって、1979年頃までは急激に水田面積が増加している。その後、近年にかけては減少する傾向にある。特に中央平原においては工業化や都市の拡大に伴い急激に減少している。図-8は1957年から1998年までのmajor riceの生産量を示したものである。1980年頃までは図-7に示したような水田の増加とともに、major riceの生産量も増加する傾向にある。しかし、それ以降はほとんど横ばい状態である。これはタイ政府による政策である第4次計画(1977~1981年)までは主として「農地拡大」によるものであったのに対し、第6次計画(1987年~1991年)からは「生産効率の向上」に転換していったことにより、水田面積は減少しても生産量はほとんど変わらなかったためと考えられる。

図-9は1970年から1990年までの北部地域と中央平原における水田面積、穀物耕作面積の経年変化である。中央平原において、1980年頃から水田面積が減少しているのに対し、「Field crop, Vegetable flowers」は増加しつつある。これは1980年代の工業化に伴い、農民から買い上げた水田を工業用地や宅地などに開発するまでの過渡的な段階で多年生の植物を栽培するというタイにおいてはよくみられる土地利用の転換パターンである²⁾。北部地域でも同様に水田面積の減少に対し、「Field crop, Vegetable flowers」は増加している。

(4) 流量と土地利用、農業形態との関係

図-10は1970年から1990年までのNakhon Sawan(C2)における年流量の経年変化と北部地域と中央平

表-1 サブ流域毎に雨期と乾期に分けて雨量の経年変化について行ったトレンド検定の結果

Sub-Basin	Season	傾き	有意性 (Kendall95%検定)
Basin01	Wet(May-Oct)	-	x
	Dry(Nov-Apr)	-	x
Basin02	Wet(May-Oct)	-	x
	Dry(Nov-Apr)	-	x
Basin03	Wet(May-Oct)	-	x
	Dry(Nov-Apr)	-	x
Basin04	Wet(May-Oct)	-	x
	Dry(Nov-Apr)	+	x
Basin05	Wet(May-Oct)	-	○
	Dry(Nov-Apr)	-	x
Basin06	Wet(May-Oct)	-	x
	Dry(Nov-Apr)	-	x
Basin07	Wet(May-Oct)	-	x
	Dry(Nov-Apr)	+	x
Basin08	Wet(May-Oct)	+	x
	Dry(Nov-Apr)	+	○
Basin09	Wet(May-Oct)	-	x
	Dry(Nov-Apr)	-	x
Basin10	Wet(May-Oct)	-	x
	Dry(Nov-Apr)	-	x
Basin11	Wet(May-Oct)	-	x
	Dry(Nov-Apr)	-	x
Basin12	Wet(May-Oct)	-	x
	Dry(Nov-Apr)	-	x
Basin13	Wet(May-Oct)	+	x
	Dry(Nov-Apr)	+	x
Basin14	Wet(May-Oct)	+	x
	Dry(Nov-Apr)	+	x
Basin15	Wet(May-Oct)	-	x
	Dry(Nov-Apr)	-	x
Basin16	Wet(May-Oct)	+	x
	Dry(Nov-Apr)	-	x
Basin17	Wet(May-Oct)	+	x
	Dry(Nov-Apr)	-	x
Basin18	Wet(May-Oct)	-	x
	Dry(Nov-Apr)	-	○

表-2 ケンドールの順位相関を用いて行ったトレンド検定の結果

Station	N	τ	p	z	p
P12	21	-0.448	0.0029	2.84	0.0045
C2	21	-0.467	0.0029	2.96	0.0031
C13	21	-0.343	0.0291	2.17	0.0297
C7A	21	-0.248	0.1227	1.57	0.1164
P7A	21	-0.562	1.00E-04	3.56	3.66E-04
W3A	21	-0.486	0.0015	3.08	0.0021
Y4	21	-0.476	9.00E-04	3.02	0.0025
Y17	21	-0.352	0.0261	2.23	0.0254
N5A	21	-0.333	3.27E-02	2.11	0.0345
N7	21	-0.276	0.0897	1.75	0.0799

表-3 雨期(5月~10月)と乾期(11月~4月)に分けて流量の経年変化について検定を行った結果

Station	Season	n	τ	p	z	p	傾き
P12	Wet(May-Oct)	21	-0.543	1.00E-04	3.44	5.77E-04	-
	Dry(Nov-Apr)	21	-0.390	0.0113	2.48	0.0133	-
C2	Wet(May-Oct)	21	-0.486	0.0017	3.08	0.0021	-
	Dry(Nov-Apr)	21	-0.124	0.4473	0.79	0.4324	-
C13	Wet(May-Oct)	21	-0.324	0.0441	2.05	0.04	-
	Dry(Nov-Apr)	21	-0.229	0.1667	1.45	0.1472	-
C7A	Wet(May-Oct)	21	-0.171	0.2877	1.09	0.277	-
	Dry(Nov-Apr)	21	-0.267	0.0999	1.69	0.0908	-
P7A	Wet(May-Oct)	21	-0.676	1.00E-04	4.29	1.80E-05	-
	Dry(Nov-Apr)	21	-0.457	0.0035	2.90	0.0037	-
W3A	Wet(May-Oct)	21	-0.457	0.0033	2.90	0.0037	-
	Dry(Nov-Apr)	21	-0.362	0.0221	2.29	0.0217	-
Y4	Wet(May-Oct)	21	-0.505	0.0011	3.20	0.0014	-
	Dry(Nov-Apr)	21	-0.276	0.0799	1.75	0.0799	-
Y17	Wet(May-Oct)	21	-0.343	0.0281	2.17	0.0297	-
	Dry(Nov-Apr)	21	-0.371	0.0157	2.36	0.0185	-
N5A	Wet(May-Oct)	21	-0.419	0.0083	2.66	0.0079	-
	Dry(Nov-Apr)	21	0.124	0.4493	0.79	0.4324	+
N7	Wet(May-Oct)	21	-0.305	0.0565	1.93	0.0533	-
	Dry(Nov-Apr)	21	0.181	0.2741	1.15	0.2512	+

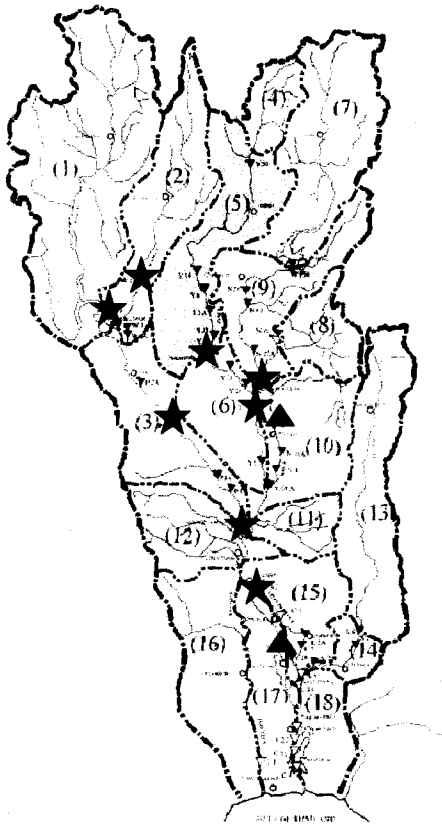


図-6 流量と雨量について行ったトレンド検定の結果の地域特性

サブ流域(5)は年雨量について有意な減少傾向が得られた。★は流量について有意な減少傾向のあった点、▲は増減に関わらず有意性は認められなかった点。

原における水田面積の経年変化である。図中の直線は、年流量の経年変化についての回帰直線である。この図より1980年代の中央平原における水田面積の急激な減少と年流量の減少の傾向とが良く一致していることがわかる。Nakhon Sawan (C2) は4河川が合流しChao Phraya川となる場所に位置するので、Nakhon Sawan上流域における水田面積の減少に伴う果樹園などの増加が、顕著に河川流量の減少という結果に現れたのではないかと推察できる。

図-11は1970年を基準とした中央平原における水田面積の経年的な増減率と年流量の増減率との関係である。水田面積が減少するとともに年流量も減少する傾向にある。このような傾向は図-9で示したように、水田から穀物耕作地への土地利用の変化が河川流量を減少させていると考えられる。

Nakhon Sawan以外の流量データについても検討を行ったが、地域ごとの土地利用データが存在しないため、

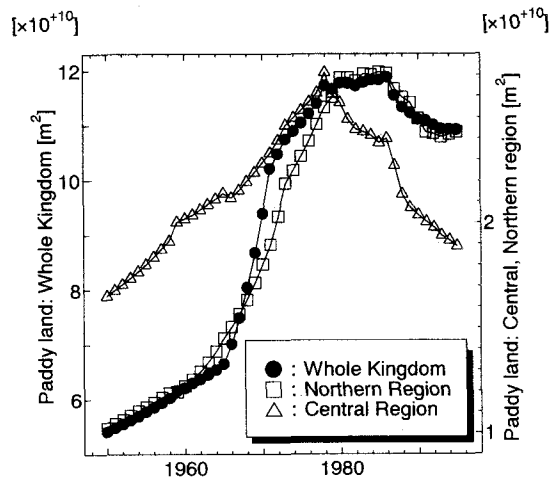


図-7 1950年から1995年までの水田面積の時系列

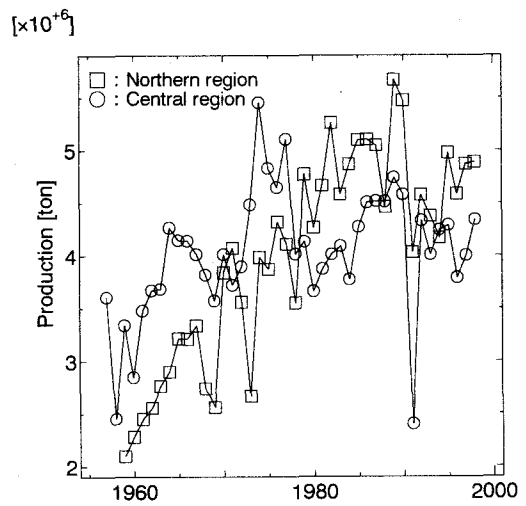


図-8 1957年から1998年までのMajor riceの生産量の時系列

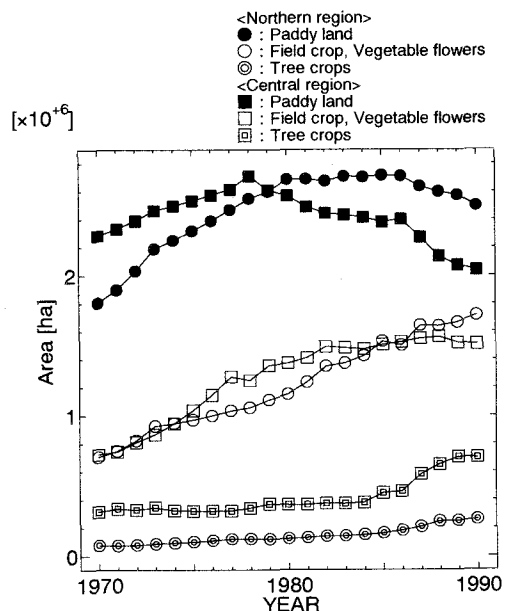


図-9 中部平原と北部地域における水田面積と穀物などの耕作地面積の時系列

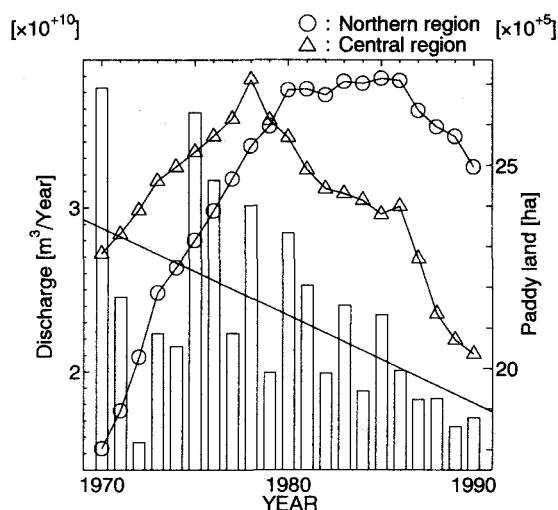


図-10 Nakhon Sawanにおける年流量と北部地域、中央平原の水田面積の時系列

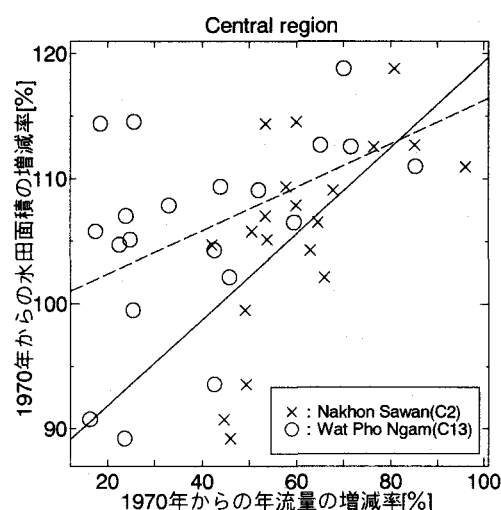


図-11 年流量と水田面積の増減率の関係

流量変化の原因を考察することはできなかった。

5. まとめ

社会変動が水循環に与える影響について、タイ王国に位置するChao Phraya川流域を対象に解析を行った。本論文では、「社会変動」を「土地利用の変遷」と「農業形態の転換」の二つをパラメータとし、その変動の大きかった1970年から1990年について、河川流量へどのような影響を与えたかを評価した。以下に得られた主な知見を示す。

- (1) Chao Phraya川流域の10地点の水文観測所の流量データを調べた結果、8地点について、年流量の有意な減少傾向を捉えた。さらに雨期と乾期に分けた解析においても、雨期、乾期ともに概ね減少傾向にある。
- (2) 流域内を18のサブ流域に分け、その流域毎の平均雨量について経年変動を調べた結果、17のサブ流域においては有意な減少・増加の傾向は得られなかった。
- (3) 河川流量の減少傾向は降水量に因るものではないと考えられることから、水田の減少や水田から果樹園などの耕作地への土地利用の変化が河川流量の減少を齎したと推察できる。

6. 今後の課題

本研究によって、Chao Phraya川流域全般において河川流量の減少が確認された。今後、河川流量の減少傾向が土地利用の変化に因るものであると推察し、(1) 水田面積の減少、(2) 森林面積の減少、(3) 水田から

耕作地への変遷、の三点を中心とする土地利用変化に着目し詳細な実態解明を行うとともに、流出モデルを用いた検討を行う予定である。

謝辞：本研究を遂行するに際し、総合地球環境学研究所の沖大幹助教授、東京大学生産技術研究所の鼎信次郎助手、安形康博士より貴重なご意見を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 安形康, 金元植, 鼎信次郎, 沖大幹, 虫明功臣: 熱帯アジア気象水文データベースの構築とその応用例, タイ・チャオプラヤ川を対象とした土地利用変化が河川流量に与える影響のシミュレーション, 第6回水資源に関するシンポジウム論文集, pp.513-518, 2002.
- 2) 山本博史: アジアの工業化と農業・食糧・環境の変化, 筑波書房, 1999.
- 3) The study on integrated plan for flood mitigation in Chao Phraya river basin-Final report, JICA, 1999.
- 4) 鼎信次郎, 沖大幹, 小池雅洋, 大手信人, 澤田裕介, 虫明功臣: インドシナ半島における森林伐採が降水に与える影響に関する研究, 第8回地球環境シンポジウム論文集, pp.169-174, 2000.
- 5) Kanae, S., T. Oki, K. Musiake: Impact of deforestation on regional precipitation over the Indochina peninsula, J. Hydrometeor., Vol.2, pp.51-70, 2001.
- 6) 高谷好一: 熱帯デルタの農業発展, 創文社, 1982.
- 7) 農林水産省編: 食糧・農業・農村政策審議会農村振興分科会農業農村整備部会平成14年度第1回国際小委員会, 資料-4, 2002.

(2002. 9. 30受付)