

### 3 カンボジアにおける水文・気象の特徴

K.K.三祐コンサルタンツ  
インターナショナル

加 藤 哲 夫  
川 合 尚

#### ま え が き

筆者らは1964年11月初旬から翌年2月中旬までカンボジアに在って、Sambor 地域開発の調査に携わった。これはメコン委員会の日本政府への委嘱による Sambor Project 計画の一部として、農業開発部門のかんがい排水調査を海外技術協力事業団から委託されたもので Kratie 州における現況調査が主であったが、安芸団長に率いられて、他の地域も Mekong, Tonle Sap, Bassac 沿いに主にかんがい排水事業を視察、見聞する機会を持った。わずかに一乾季の前半に過ぎないので新たに得た資料に既往の資料も加えて、若干の解析を加え、2, 3 気付いた特徴について述べる。

#### I カンボジアの水文・気象の特徴

カンボジアは北緯10.4度から14.6度の間に位置し、Köppen の分類をまつまでもなく、熱帯多雨気候に属する。2, 3 の特徴を挙げるとつぎのようである。

- a アジア・モンスーンの支配下であること。
- b モンスーン中の降雨は、スコール性のものが多く、地域的・時期的に降雨量は大いに異なる。
- c Mekong 下流域は太平洋台風圏にも入る。しかし、台風の多くはインドシナ半島に勢力をそがれ、Mekong 下流域を通過するときには、その威力は失われる。ただし大降雨を伴わない、特に南西モンスーン後期の台風は、河川の最高洪水をもたらすことがある。
- d 12ヶ月周期の月平均気温の振巾は小さく、かえって気温の日較差の方が大きく乾季には日較差が 10°C 以上に及ぶことがある。

表-1 Thornthwaite の気候分類

#### II 蒸 発・蒸 散

Thornthwaite が1931年に水経済を中心に考えた気候分類を発表した。それは次式にもとづき表-1のように分類したものである。

$$P/E = (P/5.0T + 62)^{10/9} \quad (1)$$

ただし、蒸散量 E, 降水量 P は mm/month

		林 相		P/E
湿 潤	A	雨 林		107%以上
	B	森 林		53~106
	C	草 原		27~ 52
やや 乾 燥	D	ス テ ッ プ		13~ 26
	E	砂 漠		12以下

表-2 カンボジア各地の P/E 値

	Battambang		Kompong Cham		Phnom Penh		Stung Treng	
	1962	1963	1962	1963	1962	1963	1962	1963
Mar.	51	20	—	13		9	—	8
Apr.	13	11	18	—		—	—	1
May.	42	73	65	28		53	52	73
Jun.	90	29	44	94		55	155	122
Jul.	97	86	138	44		57	237	161
Aug.	98	158	127	102		108	102	164
Sept.	210	132	168	75		84	220	242
Oct.	57	173	54	66		210	60	61
Nov.	28	134	8	88		119	7	5

で表わし、気温Tは °C で表わす。

カンボジア各地の蒸散量を、上式で計算し (図-1 参照), P/E を求めてみると、表-2 のようになる。雨季の8, 9月はA, 雨林に相当し、雨の少ない3, 4月はE, 砂漠並みである。

蒸発量は、雨季直前の4月頃が最高、8月頃が最低である。雨季と乾季で平均蒸発量はあまり大きな差はなく、また地域的にも大差はないようで、年平均 6mm/day 弱である。図-1 に示すように、蒸発量の12ヶ月のパターンは日照時間や気温にかなり密接な関係があるようである。

またカンボジアでは図-2 に示すように、蒸発量 (∞蒸散量) と気温との関係は4月から11月までの雨季とその他の乾季とではそれぞれ違った傾向が見出されるが興味深い。

カンボジア 農林省農業土木次長 Hing-Un 氏が、蒸散散位に関して Penman 公式の適用について研究し、乾季には不適だが雨季ではよく一致するとされている。これは P, E の性質上うなづけよう。

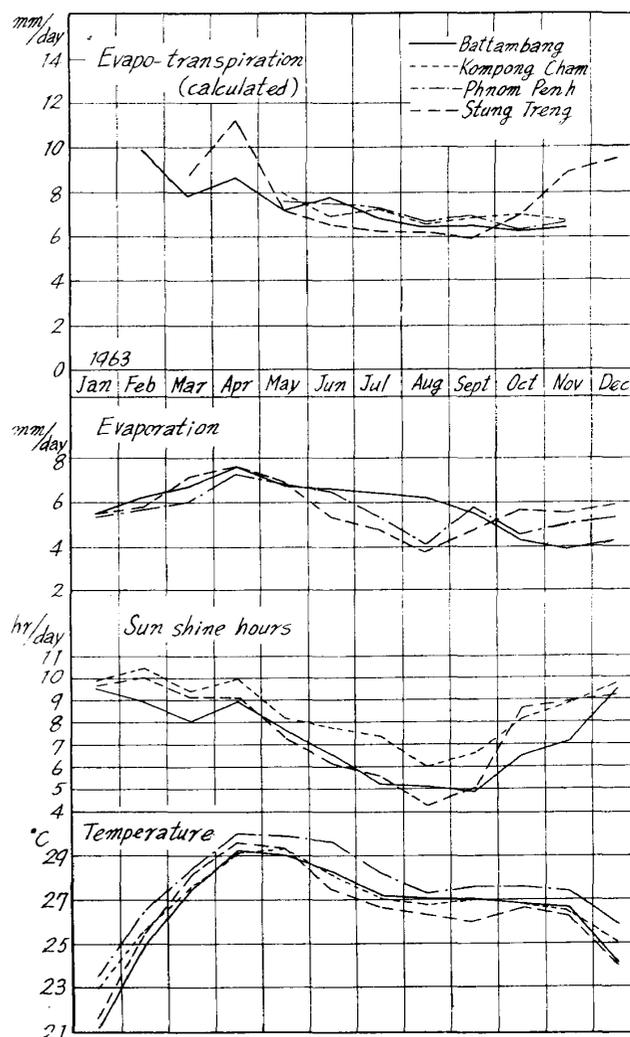


図-1-1 蒸散量と蒸発量, 日照時間, 平均気温, 1963年

### III 降 雨

カンボジアのみならず全 Mekong 流域にとって、降雨自身がかんがい用水の主水源であるから、モンスーンの訪れる時期と去る時期とは、農業上もっとも重要な影響をもつ。ところが、この雨季の期間と雨量とは、年ごとに相当の変動がある。

図-3は、もっとも観測期間の長い Phnom Penh の降雨状況を調べたものである。ここで、便宜上雨季の定義を、月降水量が年降水量の5%以上ある期間とした。図-3をみると、雨季の始まる月は54年間のうち、約70%は4～5月であるが、バラツキが大きく、雨季期間中にも寡雨月（年降水量の5%以下）が54年中50%近く含まれることがわかる。（表-3 参照）

図-4は、Phnom Penh の年雨量の長周期変動を調べたものである。

図-5のコレログラムでは、とくに目立った短周期性はないので、適当に7年と4年の filter を選び算術移動平均によって原系列（図-4）を平滑化した。

長期傾向としては、10数年ないし数10年の周期があるように見える。確率水分量を求める場合、つぎの方法の提案は、精度を高めるのに有効と思う。すなわち、まず原系列を決定論的な長周期成分と、その残差系列とに分ける。短周期成分の残差系列は、おそらく定常時系列であり、従来の方法による平均値からの残差系列よりも、偏差が小さく精度がよくなる。求める洪水、渇水の目的に応じて長期傾向のピークまたは底部を選び、所望の確率で残差成分をこれに加えるのである。

図-4には、同時に Kratie における Mekong 河の年平均流量の系列を描いた。その傾向が Phnom Penh における雨量と対応しなくても不合理ではないが、下流部では融雪の影響はほと

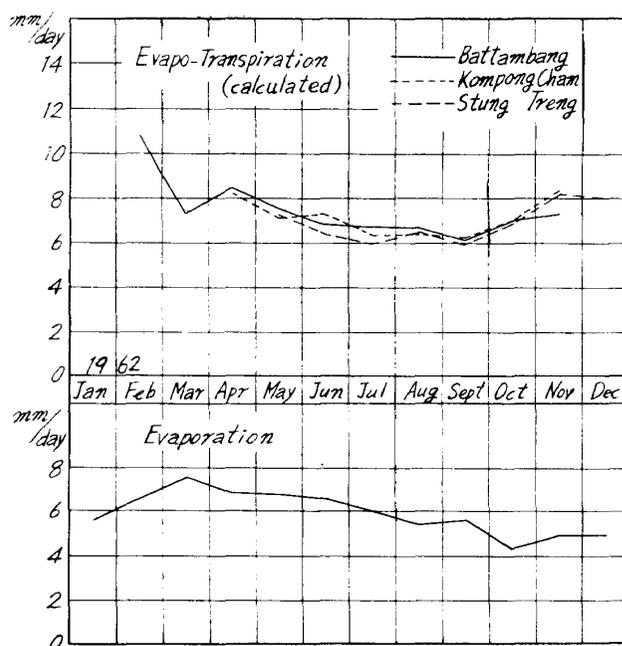
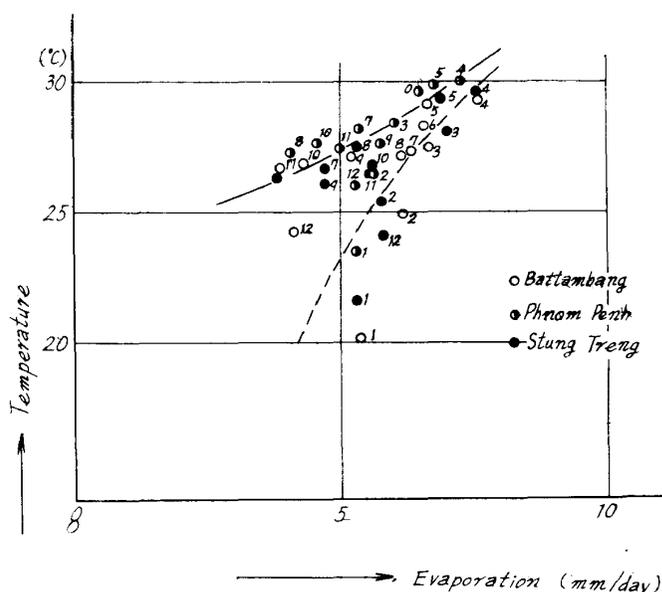


図-1-2 蒸発量と蒸散量 1962年



右肩の数字は測定月を表わす。  
測定年 1963

図-2 蒸発量と気温との関係（月平均）

雨季期間 (月降水量が年降水量の5%以上の期間)

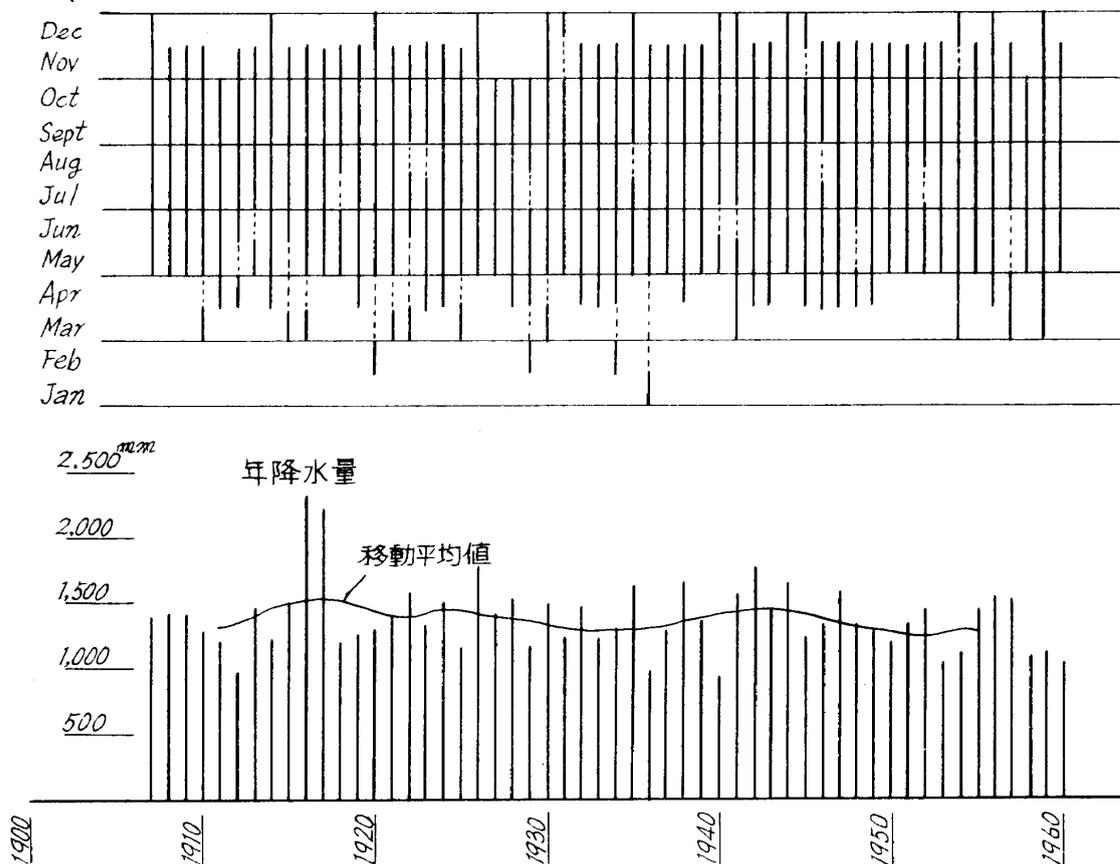


図-3 Phnom Penh における降雨状況

表-3 雨季期間に関する頻度 (Phnom Penh 1907~1960)

雨季の始まる月の回数	左のうち寡雨月を含む回数	雨季の終る月の回数	雨季のつづく期間			
			始月から終月まで	寡雨月を除く		
1月	1	10月	5	6カ月	2	6
2月	3	11月	35	7カ月	15	23
3月	11	12月	14	8カ月	19	17
4月	18			9カ月	11	7
5月	21			10カ月	5	1
				11カ月	2	—
計	54	計	54	計	54	54

んどないといわれる Mekong 河流量の流出に対応する降雨を求めることはかなり複雑で困難なことを示唆している。

年雨量の分布について、Phnom Penh における雨量データにもとずいて考察すると、大体対数正規分布となっているようで、年平均雨量は 1,340mm、非超過確率 5% 及び 95% では 990mm 及び 1,820mm である。

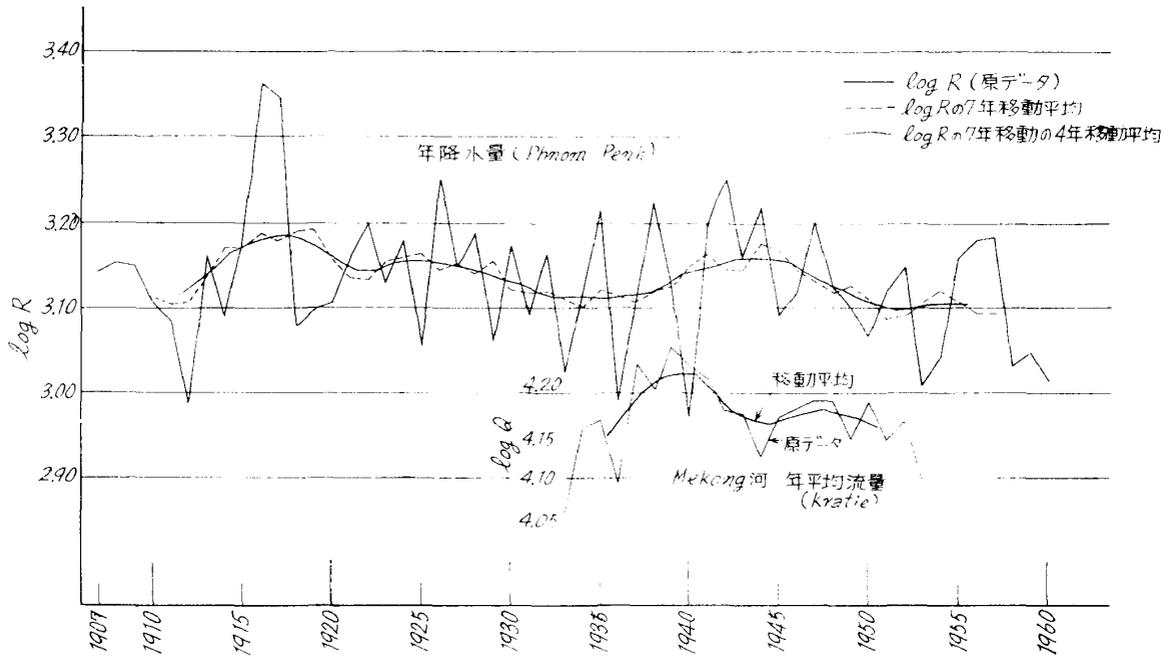


図-4 Phnom Penh 年雨量の長期的傾向

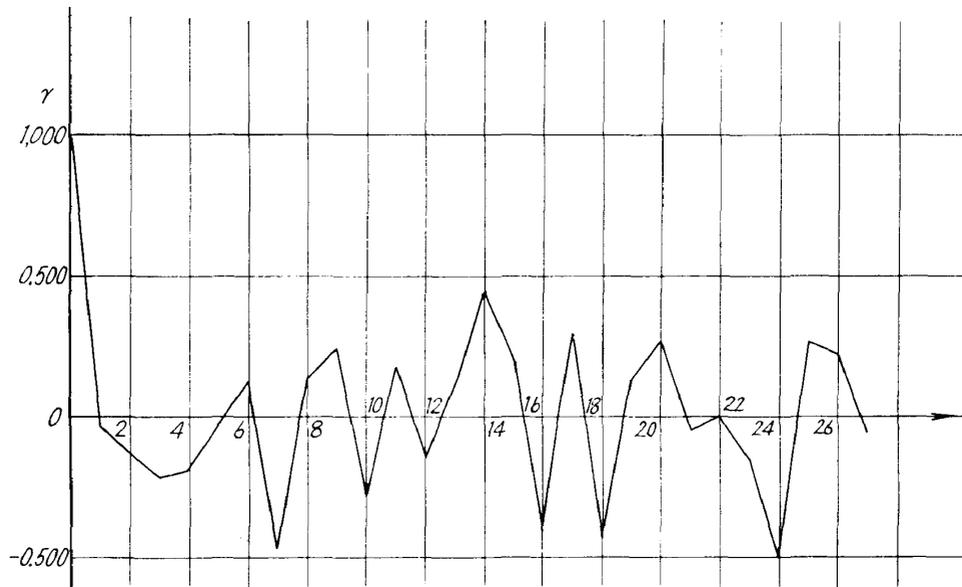


図-5 Phnom Penh 年雨量のコレログラム

つぎに降雨の地域性について若干ふれてみよう。図-6は Mekong 河沿いの Kratie とその下流の Kg. Cham との月降雨量を対比してみたものであるが、殆んど相関性は認められない。

つぎに、スコールの降雨強度について述べる。この降雨強度は、土壌保全や水路の設計に当って、一つの重要な因子となる。以下は、1964年の雨季の降雨記録のうち、若干の降雨強度の大きい 1hr, 1/2hr, 1/4hr 雨量の資料について、解析を試みたもので、1hr 以内の降雨強度についてはほぼ次式が適用できるようである。

$$I_T = C - 84 \log_{10} T \quad (2)$$

ここに、 $I_T$ : T hr 連続降雨  $R_T$  の降雨強度,  $I_T = R_T / T$  (mm/hr)

C: const., T=1hr における降雨強度, 1964年の観測では30~70mm/hr の範囲。

降雨記録をみると, 日降雨量が1hr 雨量の2倍以上となることは稀であって, スコール性の場合には日雨量の降雨時間が数時間, 多くは2時間程度までのようである。

#### IV 河 川

Mekong 河の水位は12ヶ月周期のパターンを毎年くりかえす。雨季の始まりと共に, 4月末~5月からゆっくりと上昇し, 8, 9月にピークがあり, 雨季の終りと共に急低下する。そしてつづいて始まる乾季と共に, 徐々に減水する。年によって小さな変動があり, また降雨によって時々独立したピークを持つけれども, 年間のフローパターンは同型である。カンボジアでは, Mekong 河の自然堤防を洪水が越流する箇所はあまりないけれども, 多くの小さな支流の堤防は Mekong 河のものより低いので支流を逆流して後背地に流出する。

支流の水位は, 背水の影響をうけて本流の水位に追随するけれども, 支流は自身の流域からの流出により, 水位の年間のパターンが複雑である。本流水位の年間パターンのピーク附近の水位はほとんどの支流を通じて比較的長期(1~3ヶ月)の氾濫をもたらすが, 時々支流流域のスコールが支流水位を急激に(数時間以内)高め, それがまた諸所で局地的に氾濫を起させる。この氾濫はたかだか1~2日で減水してしまうが, 水位上昇はかなり大きい(数m)所があ

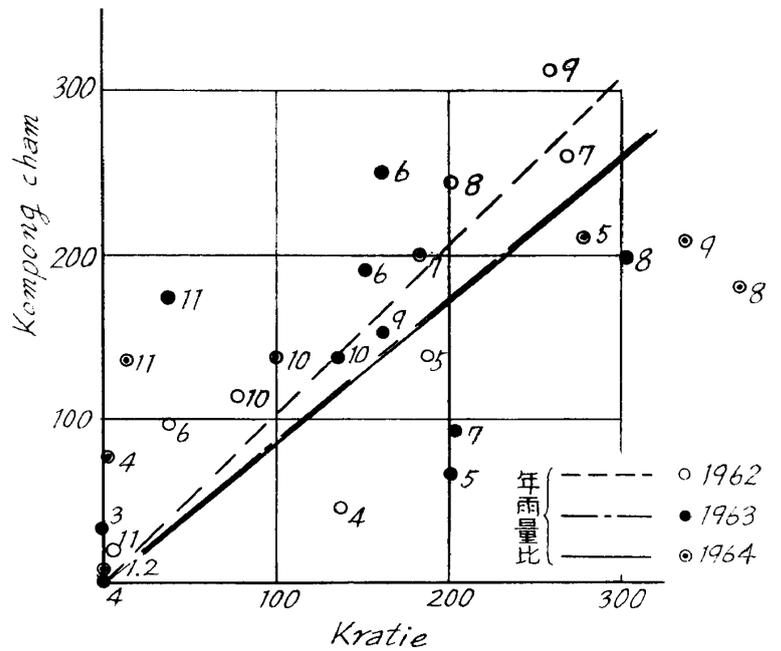


図-6 月降雨量の地域差

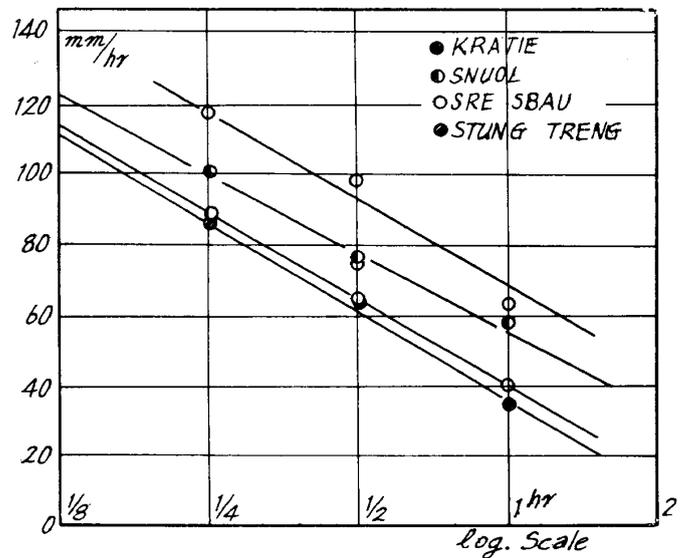


図-7 スコールの降雨強度

る。これらの支流の流出に関する正確な情報は、今のところえられていない。

計画にあたって、これらの洪水状況を知ることは極めて重要であるので、1965年2月にKratie州の主な支流21ヶ所に量水標を設置し、あわせて流域内の10ヶ所に簡単な雨量計を設置した。これにより、1965年の雨季調査以後、降雨量の比較的近距离の地域差、支流の流出状態などがある程度解明されるはずである。

最近の Mekong 河の水位、流量に関する資料は、1962年以後16地点の記録その他が Hydrologic Year Book に収められている。いま比較的途中の流入流出量の少ない Stung Treng と Kratie の間で、洪水追跡に Muskingum 法を試みてみよう。洪水は1963年のピーク、8月7日から8月28日までの資料を選んだ。

$$S = K[xI + (1-x)O] \quad (3)$$

ここに、 $S$ : 貯留量  $= (A_s + A_k) \times 130\text{km}/2$ ,  $A_s = \text{Stung Treng}$  における流積  $= h_s \times 2,000\text{m}$  とした。水深  $h_s$  は、 $H-Q$  曲線から  $Q=0$  のとき  $H=-0.3\text{m}$  と推定し、Year Book の観測値を  $+0.3\text{m}$  修正した。 $A_k = \text{Kratie}$  における流積  $= h_k \times 1,800\text{m}$  とした。水深  $h_k$  は前同様  $Q=0$  のとき  $H=2.2\text{m}$  とし、観測値を  $-2.2\text{m}$  修正した。 $K, x$ : const.  $I, O$ : それぞれ Stung Treng および Kratie における同時刻の流量。

時間刻みを1日にとり、(3)式で  $x=0$  から0.5までを仮定し、 $S$  と  $[xI + (1-x)O]$  との関係プロットすると、図-8のようになる。 $x=0.4$  と0.5の間でループは極めて扁平となり、ここでは Muskingum 法を適用できることがわかる。グラフから  $K=33,600 \text{ sec}$ ,  $x=0.45$ , そう

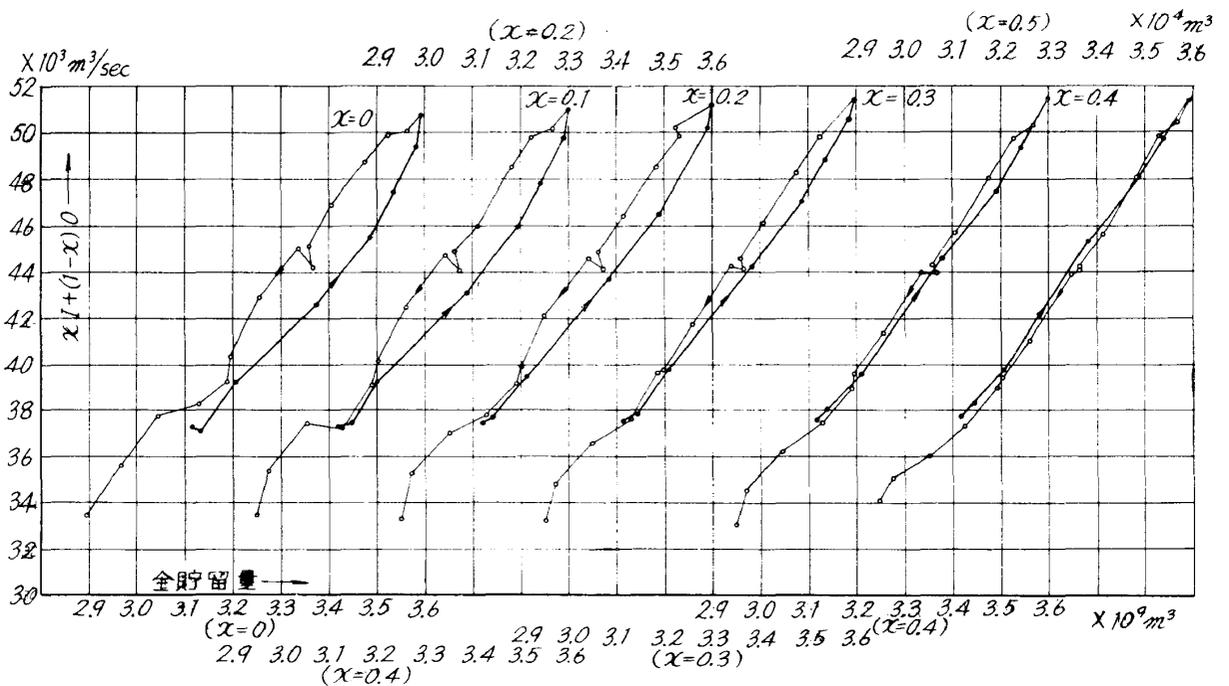


図-8 Stung Treng~Kratie における Mekong 河の洪水進路 (Muskingum法) 1963, Aug. 7~24

して(3)式を書き直して,

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1 = -0.148 I_2 + 0.885 I_1 + 0.263 O_1 \quad (4)$$

とすることができる。ただし(4)式のIとOの添字1,2は,時刻tおよびt+Δtにおける諸量。

$$C_0 = -\frac{Kx - 0.5\Delta t}{K(1-x) + 0.5\Delta t}, \quad C_1 = \frac{Kx + 0.5\Delta t}{K(1-x) + 0.5\Delta t}, \quad C_2 = 1 - C_0 - C_1, \quad \Delta t = 6\text{hr} \text{ にとった。}$$

図-8から, x は 0.5 に近いので, 流入と流出の各影響は同程度でありかなり急流であって, 流入 hydrograph はあまり変化せずに流出地点に伝播するといえる。Stung Treng, Kratie 間はこの時の水面勾配約1/5,000, 平均流速 2.4~1.5m/sec, 粗度係数 n=0.035 前後と推定される。この間は, 洪水時もさして氾濫しないから, 図-8のような結果は当然といえよう。

図-9は, 前記計算の洪水波形のピーク附近を, Mekong の上流から Ban Chan Noi (流域 549,000km<sup>2</sup>), Stung Treng (流域 635,000km<sup>2</sup>), Kratie (流域 646,000km<sup>2</sup>), Kompong Cham (流域 660,000km<sup>2</sup>) の各地点について, ピークを合わせて描いたものである。上流から次第に洪水波頂の曲率が增大して, 平滑化してくる様をうかがうことができる。しかし, 河道断面の変化, 流入, 貯溜などのため, もとより波高の減衰法則などをそのまま適用することはできない。

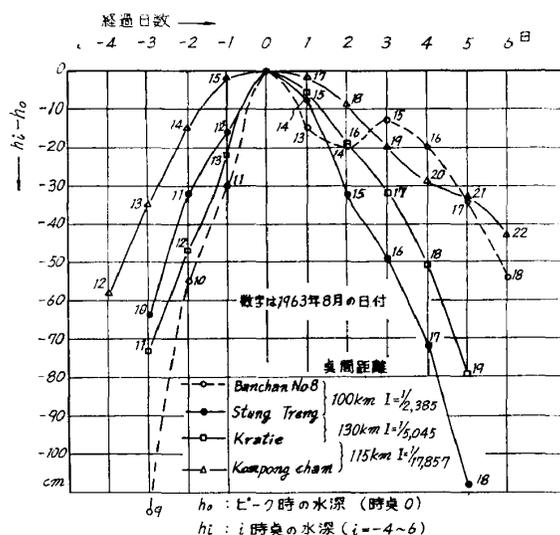


図-9 Mekong 河の洪水波頂付近の水面形

その他 Mekong 河の特徴としては, 年間 150 × 10<sup>6</sup> ton の沈澱量に及ぶ Sedimentation concentration (約 300ppm), 塩分浸入問題などがある。これらは最近とくに問題化し, 原因として流域および堤防, 水路の荒廃が伝えられるが, これもまた非情なベトナム戦乱の影響というべきであろう。