

2 Mekong 河流域の水文調査

水資源開発公団計画部 竹 内 俊 雄

ま え が き

筆者は昭和35年第3回 Mekong 河開発踏査団に参加し、42日間にわたり流域、主としてカンボジアの雨季の出水状況の調査を行なった。流域の水文資料の不備は痛感されたところであったが、アメリカの援助による水文調査が着々と効を奏して、この数年間、正確な資料が整備されるに至った。これにより流域の水文学上の特性が次第に明らかになってきた。正確な資料が容易に得られるようになったので、電子計算機を用いた水文解析が始められるに至った。

I 水 文 資 料

Mekong 河下流域は4ヶ国にまたがっており、これまで水文観測はそれぞれの国が独自で行なってきた。踏査団は各国の政府機関を廻って資料の収集を行なったが、気象現象それ自身は連続であるにもかかわらず、各国で区分して観測されているだけで流域全体としての気象特性に対する考察がなされていなかった。水位の観測値はかなりあったが、Mekong 河本流の流量値としては Phnom Penh で1948～49年に得られたものを除いて、系統的な観測値はないような状況¹⁾であった。

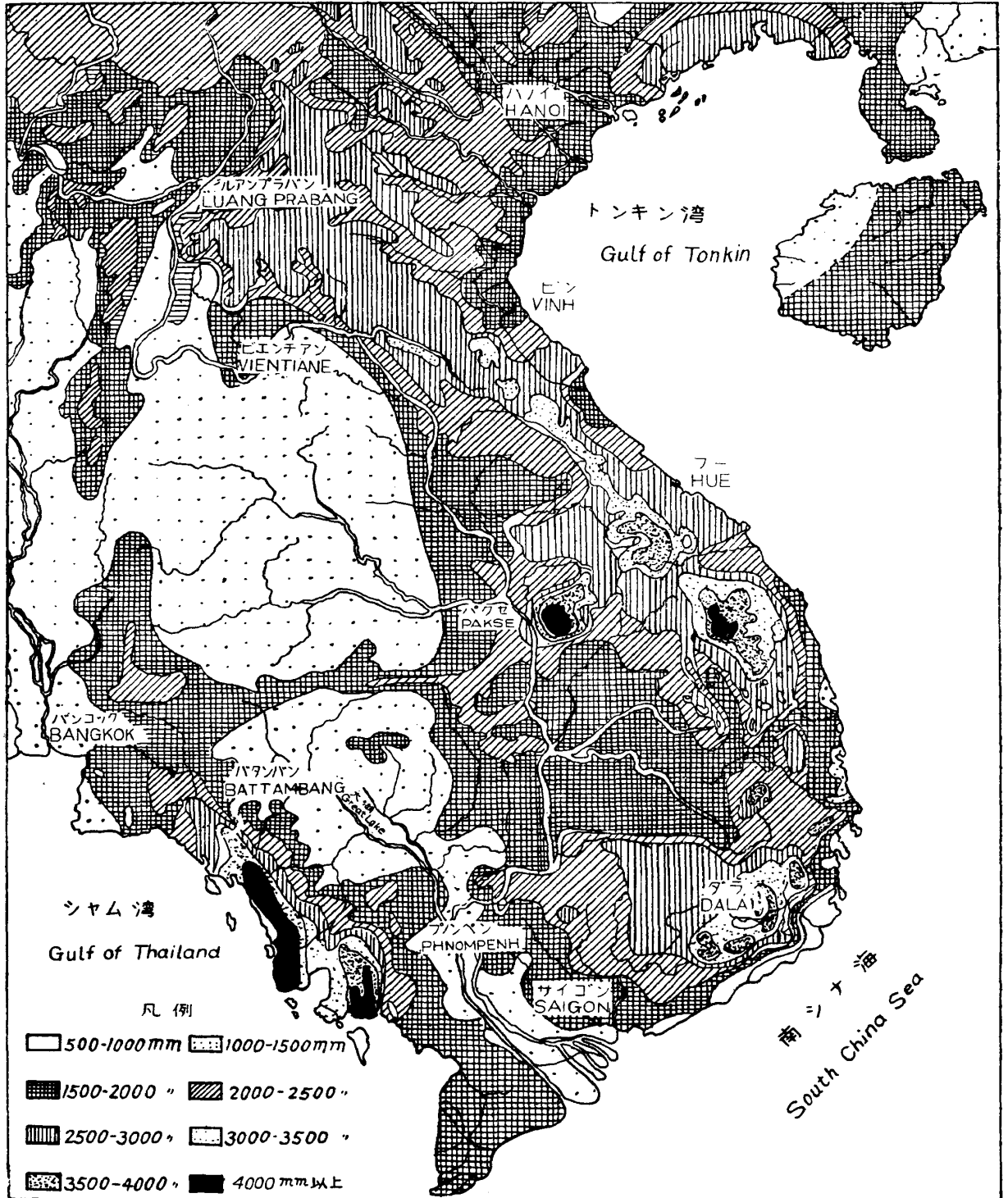
Mekong 河の水資源開発が ECAFE によって取り上げられると、流域の水文資料の不備が痛感された。これに対して各国より援助の申し込みがあり、流量水準点の設置はカナダ、アメリカ、流量観測及び流砂測定用具はフランス、石油はイラン、流量観測用ボートはニュージーランド、蒸発計は英連邦、などがその例である。

アメリカは特に流域の水文観測を受け持つことになり²⁾、ハルザー・エンジニアリング会社に流量、流砂量、水温、降雨量、蒸発量、風速などの現地観測から資料整理までを实地指導させることにした。期間は1958～62年の5ヶ年間で、最初の2年間は施設整備と訓練の準備期間で、1960年より作業は開始され、観測資料は公表された³⁾。1961年における流域内の観測所数は表一1のとおりである。

ハルザーの観測方法はアメリカ国内で広く用いられている標準方式によっており、流域全体

- 1) ECAFE「Development of Water Resources in the Lower Mekong Basin」Flood Control Series No. 12. 邦訳、科学技術庁資源局資料 第19号 昭和34年1月
- 2) Harza Engineering Company「Final Report Lower Mekong River Project」July, 1962.
- 3) 「Hydrologic Data Mekong River Basin」1960, 1961年

図-1 Mekong 河下流域の年降雨量分布図



に一貫した観測体系を植付けたことの功績は大きい。実際の作業には4ヶ国政府からの派遣員を使っていたので、2年後、アメリカが手を引いたあとでも一本立ちができて、前と同じ形式で、既に2年間の資料が公表されている⁴⁾。最も新しい観測所の配置は巻末の Mekong 河流域の地図に示すとおりである。

表-1 流域内の観測所数

国名	雨量観測所	流量観測所
タイ	15	9
カンボジア	22	9
ラオス	6	13
ベトナム	15	3

II 資料に対する考察

1. 雨 量

Mekong 河下流流域は、その西側に小さい壁があり、東側に大きい第2の壁がある。流域の降雨は Thai 湾から吹きつける南西方向の季節風によるものであるが、流域内の年雨量分布は図-1にみるように地形に支配されるものであることがよくわかる。(巻末の地図参照)

流域における降雨分布について第一義的な解説はこれで得られることになるであろう。しかし、流域の支川の水資源開発の計画を立てるには、もっと詳しい調査が必要になる。図-1でラオスとカンボジアとの国境近くに豪雨地帯がみられ、ここは地形的にも高いところではあるが、どの程度の範囲を持つかということは興味あるところである。Mekong 河の東側にあたるラオス領域が流量の最大の補給源であることが図より了解されるが、そういった意味からこの地域の降雨特性を更に詳しく調べる必要があると思われる。

年雨量は大部分5月より10月までの雨季に降る。降雨機構を論ずるにはもっと短い期間の降雨量について調べてみなければならない。雨季における降雨域の中心部の移動を日雨量分布図によって推定しようとしたが、はなはだ複雑で現在の観測網の値からははっきりした傾向をつかむことはできなかった。

流域の降雨の特性としてはその大きさと共に時間的変動をも知ることが大切である。カンボジアの年雨量の資料⁵⁾につきその変動率の標準偏差を求めたところ12~19%の値が得られた。

2. 流 量

(1) 本川流量追跡

Mekong 河流域で流量観測が本格的に始められるようになった1960年からの4ヶ年の資料について考えることにする。ラオスからカンボジアに至る本川沿いの流量観測所における各年の最大、最小流量を示すと表-2のようになる。4ヶ年のうち特に1961年の日流量の年間ハイドログラフを描いたものが図-2である。最大流量について考えてみよう。上流の Luang Pra-

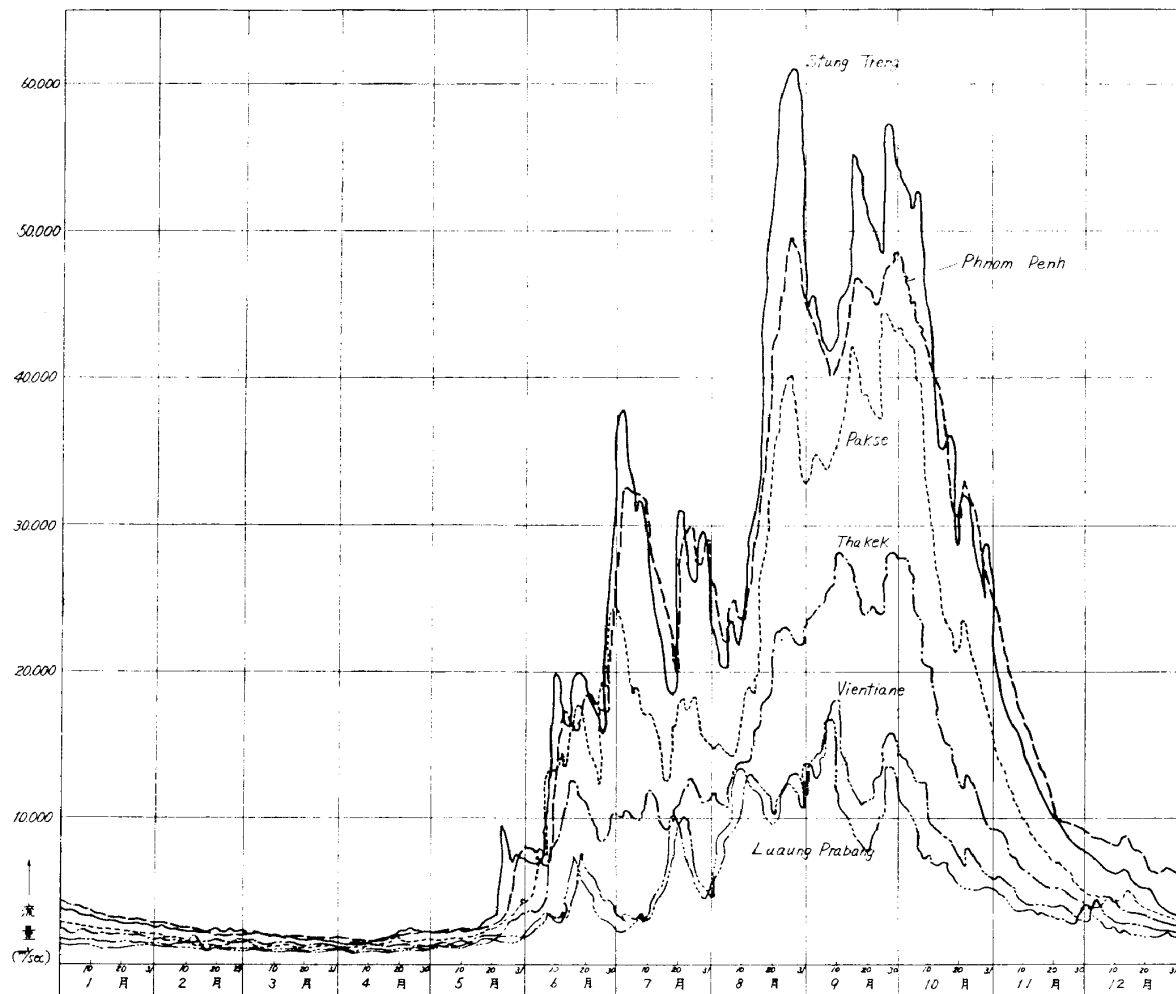
4) 「Lower Mekong Hydrologic Yearbook」1962, 1963年

5) 白石代吉「カンボジア年雨量資料」

表-2 各観測所における年最大および年最小流量

流量観測所	最小流量 (m ³ /sec)								最大流量 (m ³ /sec)								流下距離 (km)
	1960		1961		1962		1963		1960		1961		1962		1963		
	月日	流量	月日	流量	月日	流量	月日	流量	月日	流量	月日	流量	月日	流量	月日	流量	
Chiang Saen			2-28 3-3~4	674	3-26~ 27	637	3-29~ 30	574	8-10	10,700	8-9	10,500	8-21~ 22	11,700	8-9	9,480	426
Luang Prabang	4-24, 25	880	3-24~ 25	1,000	4-7	1,010	4-2	976	8-18	18,300	9-8	17,000	8-23	16,000	7-26	16,200	
Vientiane	4-28	815	3-25~ 28	1,040	3-29	1,070	4-6	920	8-20	18,200	9-10	18,300	8-26	15,400	8-11	15,800	
Thakhek	5-3	943	3-30	1,260	4-16	1,320	4-28~ 5-3	1,190	8-24	31,700	9-12, 28~30	28,200	9-10	19,800	7-29	30,800	
Mukdahan	5-3	970	4-2	1,290	4-15	1,310	5-2	1,190	8-24~ 25	34,500	9-30	31,100	9-6	23,000	8-13	36,000	
Pakse	4-12, 5-4~7	1,060	4-1~3	1,360	4-7	1,380	4-14	1,160	8-25	42,200	9-27	44,700	8-7	34,800	8-12	39,500	
Ban Chan Noi			4-4	1,360	4-6, 8	1,490	4-14	1,240	8-26	42,100	9-28	45,600	8-7~8	36,100	8-12	41,700	
Stung Treng	4-12	1,250	4-7~9	1,670	4-8~14	2,030	5-5	1,580	8-26	54,600	8-27	61,300	8-8	52,320	8-13	53,390	
Kratie	4-17	1,250	4-8~10	1,680	4-10~ 12	2,030	5-7	1,600	8-27	53,200	8-27	62,400	8-9	50,100	8-14	50,840	
Phnom Penh	4-18	1,250	4-13~ 15	1,680	4-14~ 15	2,030	5-11	1,600	8-29	43,300	8-28	49,700	8-13	44,200	8-16~ 17	43,300	

図-2 Mekong河本川日流量年図 (1961年)



bang と Vientiane とのハイドログラフはよく似ていて、その間に大きい支川の合流はない。Vientiane と Thakhek との間ではピーク流量は倍増している。Thakhek と Pakse との間で 8 月末のピーク流量が育ち始めており、Pakse と Stung Treng との間でこのピークが最大となっていることは、この区間の支川合流量が下流に対して支配的なことを示している。主要支川としては Se Kong, Se San であるが、最大降雨後 1 日で流量ピークが現われている。Stung Treng より上流 Ban Chan Noi のハイドログラフを 1 日遅らせ、これら 2 支川のハイドログラフと加え合わせると Stung Treng に近いハイドログラフが得られる。Phnom Penh でピーク流量が Stung Treng のそれより減少しているのはこの区間の氾濫と本流から Tonle Sap 湖への逆流などのためである。

(2) 年流出量

表-2 に示した本川流量観測所の区間と、この区間に合流する主要支川とにつき、年流出量 (m³) とこれを流域面積で除した年流出高 (mm) とを示すと表-3 のようになる。支川の受け

表-3 本川および主要支川の年流出量と年流出高

本川区間		流域面積 10 ³ ・km ²	1960		1961		1962		1963	
			年流出		年流出		年流出		年流出	
			10 ⁹ ・m ³	mm	10 ⁹ ・m ³	mm	10 ⁹ ・m ³	mm	10 ⁹ ・m ³	mm
Luang Prabang	区間平均	31.	12.	387	15.	484	10.	323	13.	419
Vientiane	主要支川・Nam Khan at Ban Mout	6.1			3.06	502	2.79	457	5.23	857
Vientiane	区間平均	74.	95.	1,248	106.	1,432	74.	1,000	110.	1,486
Thakhek	主要支川・Nam Ngum at Tha Ngon	16.5					17.9	1,085	24.1	1,461
Thakhek	区間平均	18.	14.	778	25.	1,389	25.	1,389	2.9	1,611
	主要支川・Se Ban Fai at Se Ban Fai	8.56			21.6	2,523			19.7	2,301
	・Nam Pung at Dam Site	0.297							0.102	343
Mukdahan	・Huai Bang Sai at Ban Kham Plaloi	1.24					0.686	553	0.585	472
Mukdahan	区間平均	154.	53.	344	101.	656	85	552	41.	266
	主要支川・Se Bang Hieing at B. Keng Done	19.4			30.5	1,572	18.2	938	20.5	1,057
	・Nam Pong at Pong Neeb	12.0							2.45	204
	・Nam Chi at Yasotorn	43.1	7.59	176	9.15	212	11.7	271	8.90	206
	・Nam Muneat Ubon	104.	20.3	195	23.8	229	29.6	285	18.1	174
	・Lam Dom Yai at Dej Udom	3.34							0.933	279
	・Lam Dom Noi at Sae Falls	2.06			1.57	762	2.12	1,029	1.31	636
Pakse	・Se Done at Ban Nanay	6.17			10.8	1,750	3.71	601		
Pakse	区間平均	90.	128	1,422	150.	1,667	134.	1,489	105.	1,167
	主要支川・Se Kong at Ban Khmuon	29.6					47.3	1,598	40.7	1,375
Stung Treng	・Se San at Ban Komphum	48.2					54.3	1,127	35.1	728

表-4 年流出量の変動

Station	記録年数	年流出高 平均値 (mm)	年流出高変動率 標準偏差 (%)
Mekong River near Vientiane, Laos	35	485	16
" at Thakhek, Laos	22	645	19
" Mukdahan, Thailand	34	666	13
" Pakse, Laos	29	606	11
" Stung Treng, Cambodia	5	573	10
" Kratie, Cambodia	21	732	11
Nam Mune at Ubon, Thailand	16	195	26
Nam Chi at Yasotorn, Thailand	9	186	29

図-3 Mekong 河流域年流出高分布図

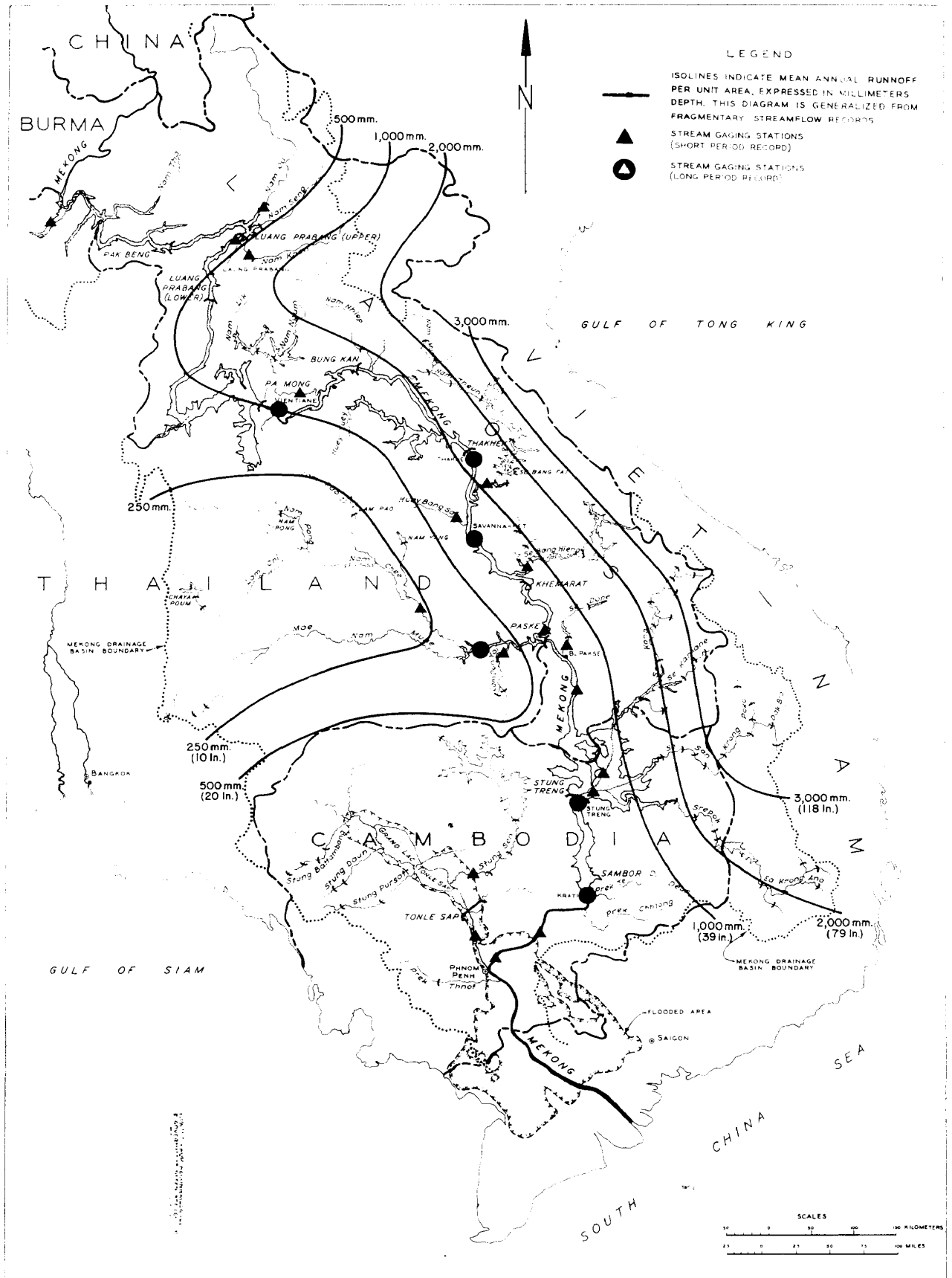


表-5 年雨量と年流出高

支川名	雨量観測所	年雨量 (mm)		流量観測所	年流出高 (mm)		年流出率 (%)	
		1962	1963		1962	1963	1962	1963
Stung Sen	Rovieng	1,753		Kompong Thom	574		33	
Se San	Voeun Sai	2,091	1,846	Ban Komphung	1,127	728	56	44
	Kontum	1,699	1,309					
	Lomphat	1,411	1,392					
	Draing	2,811	2,032					
	Dakmil	1,995	1,644					
	平均	2,001	1,645					
Nam Mune	Nang Rong	842	1,125	Ubon	285	174	20	13
	Surin	1,502						
	Phoyak Phum	1,615	1,383					
	Sisaket	1,921	1,481					
	Chumphae	1,236	1,133					
	Khon Kaen	1,230	1,337					
	Roi Et	1,695	1,299					
	平均	1,434	1,293					

持つ役割が、総量である年流出量と、強度を示す年流出高とで表わされている。年流出量についていえば、Thakhek—Mukdahan では Se Ban Fai が70~80%のウェイトを占め、Mukdahan-Pakse では Se Ban Hieng と Nam Mune とが主要支川であり、Pakse—Stung Treng では Se Kong, Se San が支配的であることがわかる。年流出高についていえば、Vientiane—Thakhek ではラオスの強度は 1,400mm で非常に強く、Thakhek—Mukdahan の左岸のラオスでは 2,000 mm を越えるが右岸のタイでは 500mm であり、Mukdahan—Pakse ではラオス側が 1,000mm に対してタイ側は 200mm になっており、Pakse—Stung Treng では 2 支川のうち北側の方が強く 1,500mm もある。

Lewis-Nelson⁶⁾ は流域の平均年流出高の分布を図—3 のように推定している。この場合、資料としては表—3 に示す値の外、1960年以前の流量資料⁷⁾をも参考にした。既に述べたように1960年以前には水位資料しかなかったのがこれはあくまでも推定値

表-6 カンボジア年流出率

年	Tonle Sap 湖			Stung Sen 川		
	年雨量 (mm)	年流出 高 (mm)	年流出 率 (%)	年雨量 (mm)	年流出 高 (mm)	年流出 率 (%)
1961	985	276	28			
62	1,576	444	28	1,753	574	33
63	1,279	390	30	—	359	—

6) D.J. Lewis and M.L. Nelson, 「Report on Computer Application to System Analysis Lower Mekong River」 July, 1963.

7) 「Low Mekong River Basin Discharge Data pris to 1960」.

である。この図は大胆に分布が描かれており、こまかい変化は今後の調査に待つところが多いように考える。

年流出量の変動がどれ位あるものかを、雨量と同様な方法で計算したものを表—4に示す。資料として長期のものがほしかったので1960年以前の流量資料を使用した。変動率の標準偏差として本流沿いでは11~19%、タイでは26~29%という値が得られている。

(3) 年流出率

支川流域について流域代表年雨量と流域からの年流出量との関係を求めようとした。資料が限られているので2支川についてしか値が得られない(表—5)。年雨量と年損失量との差である年流出高は Se San で 900mm, Nam Mune で 1,200mm となっている。この2年間の資料では相関関係を表わすことが無理であるが、タイのもっと長期の観測値によって年雨量と年流出量との関係を求めたところほゞ直線的な傾向が認められた⁸⁾。

カンボジアの中央平原のほゞ中央に位置する Tonle Sap 湖は Mekong 河と約 80km の河道をもって連絡している。出水時には本川の水はこの湖に逆流して一時貯溜されるが、この期間は5ヶ月にも達する。連絡河道の中間地点 Prek Kdam (流域面積 84,400km²) の流量観測値からこの年流出高を計算すると表—6のようになる。参考のためこの湖に流入する支川 Stung Sen (流域面積 14,000km²) の資料をも併記する。

III 水文, 水理解析

1. Lewis-Nelson 報告

河川流出解析法としてデジタル電子計算機の使用を最初に発表したのはアメリカの Rockwood⁹⁾ である。彼の流出解析の基本式は筆者と同じく Wilson 式からスタートしたもので、Columbia 河の融雪流出の計算式として、融雪のうち直接に寄与する部分を導く式を仮定し、有効雨量に対して Wilson 式を用いて routing して求めたものである。

Nelson らはアメリカ外務省から Mekong 河の流出解析調査の命を受け、1963年に現地を視察しその報告書が出された。現在融雪流出解析に使用している電子計算機 IBM 1620 の解析方法をそのまま雪の無い Mekong 河の流出解析に当てはめることを提案している。そのためには電子計算機の使える人間の教育から始めるべきであるとして、流域4ヶ国よりの研修生を引き受け、計算機の使用の訓練を受けた研修生は帰ってから Mekong 流域に設けられた計算センターで計算作業に従事するというような段取りで計画は進められている。計算としては本川沿いの流量値の routing と主要支川の流出との例が示されている。本川としては Thakhek-Mukdahan, 支川としては Se Ban Fai がとりあげられている。

8) 竹内俊雄「第3回メコン河開発踏査に参加して」土木技術資料 第3巻 第8号, 昭和36年

9) D.M. Rockwood 「Columbia Basin Streamflow Routing by Computer」Proceedings of ASCE, Paper 1874, 1958.

2. UNESCO, Mekong 河デルタモデル研究

Mekong 河下流流域での重要な水理学上の問題といえば Tonle Sap 湖の洪水時の機能である。Mekong 河流域の開発計画の中にこの湖の出口に堰をつくる計画があるので、この堰の完成後の操作が下流流域にどのような影響を及ぼすかについての研究が UNESCO によって取り上げられた¹⁰⁾。

解析の対象地域はカンボジアの Chhlong (Kratie の下流)より下流地域であって、この流域の水理特性をもつ電子計算機を組立て、Tonle Sap 湖に設けた堰の操作が下流部の洪水ピークの逓減に、また渇水量の増加にどのように役立つかを研究するものである。この際、塩水浸入、舟運、漁業などの問題も充分考慮に入れるわけである。

この研究を遂行するに当っては次のような組織を考えている。すなわち、consultant が中心になって立案し、sub-contractual が資料の収集、モデルの準備を行ない、流域4ヶ国から5人を採用し、彼らを研修して計算作業を担当してもらおうというやり方である。

UNESCO のこの研究がすんだ後、計算機は4ヶ国に譲渡されることになっている。この際、4ヶ国の技術者を研修してあるのでその取扱いに慣れており、移管後もスムーズにゆくことが期待されている。

IV む す び

- a Mekong 河調査にはわが国よりこれまで多くの人々が参加し、尨大な資料が持ち帰られた筈であるが、一箇所に集められ、整理されていて初めて次の段階に価値が発揮されるものである。この際、東南アジア水文資料室の設置が望まれる。
- b Lewis-Nelson グループの技術協力の仕方をみていると、これまで国内で完成したものを外地に適用したという感じである。国際協力とはそういうものようである。わが国の今後の援助を考えた場合、やはりポテンシャルのあるものから始めるべきであろう。
- c わが国がこれまで発表した Mekong 河流域開発計画の作成の段階では、不十分な水文資料を使っても早く見積ることが要求された。1960年以降、正確な水文資料が得られるようになってきたので、当初の資料を再吟味することができるようになった。
- d 雨季における流域の降雨状況をみていると夕立の連続といった感じがする。かような地域で面積雨量を正確に求めるには、レーダー雨量計しかない。
- e Harza, Nelson, UNESCO の3通りの援助について述べたが、3つに共通していえることは現地4ヶ国の技術者を研修して技術を教え、教育が終ると機械、器具をそれらの国に与えてやるということである。後進国援助の場合には人と物との両面から面倒をみなければ実績は上らないのであろう。わが国も大いに見習うべきだと思ふ。

10) United Nations Special Fund Plan of Operation Mekong River Delta Model Study, 12, February, 1962.