

海外の河川における洪水の水文学的研究(その1)

木下武雄*

国立防災科学技術センター

Hydrological Study on Floods in Rivers Overseas (Part 1)

By

Takeo Kinoshita

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

Hydrology is a natural science which is strongly affected by local conditions such as climate and land form. Strange as it may sound, it is difficult for a hydrologist to understand the hydrological conditions of other lands than his native land. Japan is an island country, so hydrology in Japan is mostly focused on phenomena occurring in humid mountainous small basins. But Japanese hydrologists are willing to expand their own interests to the world-wide scale to contribute to the future development of human society for the 21st century, in which most people may starve because of the rapid increase in population and serious limitation of food. Water, especially where it is excessive or insufficient, will be a hard obstacle to food production in future. It is the most important task for the future prosperity of humanity to find a way to reduce the damage caused by excessive water, that is to say floods, by means of exchange of formation on a world-wide basis.

In this report discussions of floods in the Tigris and Euphrates, Irrawaddy and Yellow River refer to the data both presented by the participants in the seminar on Technology for Disaster Prevention supported by JICA and given by their counterparts during the visit.

Figures 1 and 2 show the precipitation distributions in Iraq. The precipitation in the Tigris basin is more than that in the Euphrates basin, and there is no rain in summer in this country. The relationship between inundation area and the water level in Baghdad in the cases of nine major floods is illustrated in Fig. 3. Short-period waves in the flood hydrograph for the Tigris prevail as shown in Fig. 4, though its drainage area is wide. In the correlation between the annual maximum water levels of the Tigris and Euphrates plotted in Fig. 5, it may be assumed that the lower envelope indicates a relationship between runoffs from the main basins of the Tigris and Euphrates, and the deviation from it means the local inflow into the Tigris, which has many tributaries in comparatively humid areas.

* 第1研究部

The observation network in the Irrawaddy basin shown in Fig. 6 is properly operated day by day. The annual runoffs at the key stations are calculated from daily discharge observations. The upper basin of the Chindwin has big annual runoff due to heavy rainfall, while the runoff is small at the downstream station Prome because the middle basin is semi-arid, as shown in Fig. 7. Fig. 8 illustrates the correlation of the peak value of the sum of discharges at Monywa and Sagaing to the peak value of the discharge at Prome. The good correlation implies that the peak reduction due to channel storage is canceled by the local inflow and flood forecasting is available by a stage-stage method. Numerals indicated in Fig. 8 are the time lag of the peak discharge in days. In the most cases, they are 4 days, but an exceptional case can be found at the upper right of Fig. 8 with a 2-day time lag. The deviation of this point can be estimated by the local inflow which is induced by the rainfall illustrated in Fig. 9. This fact tells us that local storms sometimes appear and bring forth a certain amount of rainfall even in a semi-arid area. Fig. 10 gives an example of the flood hydrograph in Irrawaddy which has a long-period wave with short-period waves.

Fig. 11 shows the parabolic relation between annual precipitation P and the annual runoff S in major rivers in China. This trend can be understood as an extension of the same relation found in Japan. In the Yellow River the annual water yield (runoff) is rather high in the upper basin of Lanzhou, where the annual runoff ratio is about 0.4, while the sediment yield is small. Between Lanzhou and Toketo, where there have been many irrigation networks completed since 2000 years ago, the annual water yield is negative, in other words evapotranspiration is much greater than precipitation. From Toketo to Huayuankou, the annual water yield is small, namely the annual runoff ratio is about 0.1, while the sediment yield is very big because the famous loess plateau spreads extensively over the basin. These significant trends are illustrated in Fig. 12 where the abscissa is a drainage area from the river source. Fig. 13 shows how much runoff ratio appears during the short period of the high intensity of rainfall in the Jiuyuan Valley in the Yellow River basin. The reduction of the peak discharge in the Yellow River in the case of the storm of July 1958 was clearly observed as shown in Fig. 14 and a quantitative explanation is given, based on schematic pictures of Fig. 16, by using a simple assumption of channel storage for peak reduction. The weather analysis shown in Fig. 15 of the storm of July 1958 was carried out by Chinese meteorologists, the causality of a rain storm is somewhat different from that in Japan.

Although rivers overseas generally have wide drainage areas, a short-period wave is included in most cases. This fact means that a flood is induced by a storm appearing at a downstream basin or tributaries, and affected by local conditions. Rainfall and temperature must be observed at the same time as water level observation in order to evaluate discharge with rainfall and temperature. It should be stressed more that hydrometeorological factors are necessary in analyzing flood characteristics in any basin.

The author would like to point out one more comment on the effect of human influence upon flood runoff. According to experience obtained in Japan, the effect is remarkable in cases of rapid land development. Some of the deviations found in

these figures may be a result of human influence. The river basins mentioned above are very big, but the author is afraid that dense population, development of agriculture, industrialization and construction of embankments may change water balance in an undesirable direction, for instance increase of flood discharge and decrease of low water flow. It is hoped that these concerns will be checked for better management in further development of river basins.

1. はじめに

日本の河川の洪水は、春水と呼ばれる融雪洪水もあるが、主として降雨によるもので、その実測と解析も著しく進み、なお不明の点が多いとはいえ、実体の究明が大いに進展した。しかし一步海外へ出れば、洪水の原因・それによる被害の様相は著しく異なり、理解の限界を越える場合も多い。今後、日本は経済発展のためますます海外依存度を高め、したがって海外との交流を深めていかなければならないので、海外における河川の洪水をよく理解しておかなければいけない。全地球規模でみると、21世紀は決してバラ色ではなく飢餓の世紀といわれている。食糧生産の制限要素の一つに水があげられ、多すぎる水「洪水」と少なすぎる水「渇水」とが共に人類の悲劇的要因となるであろうことはすべての識者が指摘している通りである。

国立防災科学技術センターは国の国際協力活動の一環として国際協力事業団（JICA）と共同して研修コースを実施している。このコースにおいて研修生から発表された各自国の洪水とその対策の現状についての資料、及び筆者が幸運にも訪問することのできた折に提供



図1 イラクの年降水量分布

Fig. 1 Areal distribution of annual precipitation in Iraq, in mm.

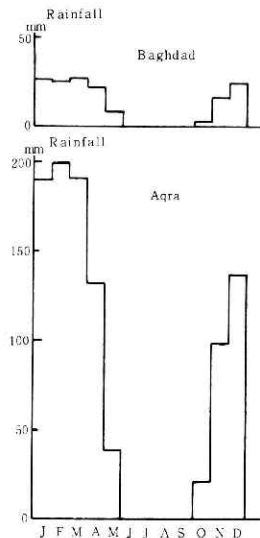


図2 イラク主要地点の月降水量分布

Fig. 2 Monthly Precipitation at the Key Stations in Iraq, in mm.

を受けた資料をとりまとめて、海外の河川の洪水を理解する一助にしようとした。これらの資料にはすぐれたものも少なくないが、一般には断片的で、誤りもかなり混入しており、色々な補助的資料と併せて判断を下さざるをえないものも多い。その上、国によっては水文データは軍事機密とされている所もあって、決して十分な資料とはいえないが、できる限りの推論を展開し、今後の国際理解に役立てると共に、日本における洪水の研究にも貢献したいと考えている。

2. イラクのチグリス・ユーフラテス（木下，1981D）

イラクはメソポタミアつまり川の間国である。年降水量は図1のように北東のザグロス山脈で約1000mm、南西の砂漠で約100mm、等降水量線はチグリス・ユーフラテスと平行する。つまりイラク領内ではチグリスの方が圧倒的に降水量が多い。月変化はどこもほぼ同じ傾向で、図2のように冬に最大値が現われ、6月～9月は降水量月表の中に欄がなく、

(Najee1, 1978) 尋ねても、雨が降らないからこれでいいという答である。全土での降水量観測所は48箇所記載されているが、南西の砂漠では集落もないので観測所もない。

チグリス・ユーフラテスはトルコに源を発し、シリア・イランの水を集めて、イラクを貫

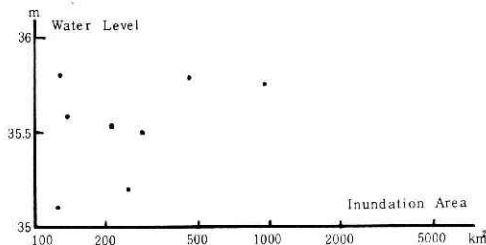


図3 バグダット水位と氾濫面積
Fig. 3 Water level in Tigris and Inundation Area near Baghdad.

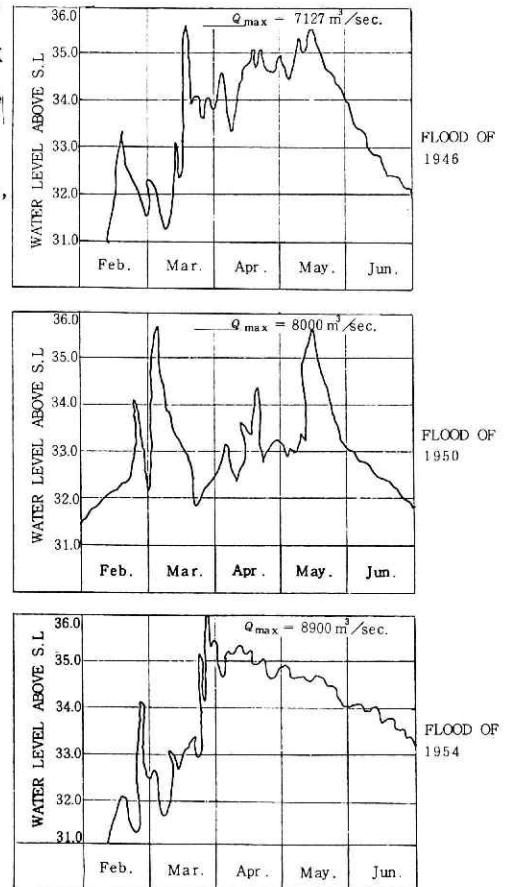


図4 チグリスの洪水時における水位時間曲線の例
Fig. 4 Examples of Flood Hydrographs in Tigris at Baghdad.

流しアラビア湾へ注ぐ全流域面積784,500km²の大河川で、うちチグリスが444,000km²、ユーフラテスが340,500km²である。各流域がそれぞれほぼ日本の全面積に対応する。洪水は①冬期の雪が両流域山岳部に多く降り、②春期に山岳部で大量の雪を融かすような雨が降り、③春期に気温が急に上昇するという3要素が重なった春期に生起する（Awad, 1979）。日本の融雪洪水と同じである。

バグダット周辺は堤防が十分ではなかったようで、過去数十年間の9大洪水についてバグダットの水位とバグダット付近の氾濫面積との関係を示すと図3のようになる。水位が高くなれば面積は増すが幅を持つ関係である。ただし現在はタルタル湖の利用などで水害は大いに減少した。チグリス川のハイドログラフの例は図4に示すように、4月から7月へかけての長周期の全体的な波と、7日～20日程度の短周期の波とで構成されている。流路延長が2,000kmあることを考えると、短周期の波はザグロス山脈に降った局地的な雨の影響かと考えられる。氾濫面積のばらつきについてはこのような意味での支川からの流出によるものかも知れない。また一時的な方法として農地へ氾濫させてバグダッドを救うことも過去に行われたらしい。

チグリスとユーフラテスの各年における年最高水位の相関は1925年～1954年のデータをもとに図5のようになる。この両河川は、上流のトルコでは流域が絡み合うように接近しているにもかかわらず、イラク・シリア領ユーフラテスにはほとんど支川がないし、降水量も少ないので、ユーフラテスは上流からのみの流出と仮定すると、図5の下限となっている45°勾配の線を想定して、それが上流からの流出によるチグリス・ユーフラテスの水位相関で、それより上がザグロス山脈などからの流出による変動成分と推定される。

最高水位の発生月は表1の通り過去約30年間に、チグリスでは1月より発生しているが、最多は4月の10回で広く分布しているのに反し、ユーフラテスでは4月・5月に15回ずつとなっている。チグリスは支川が多く、各種の要因による流出が発生するので発生時期が広がっているのに対し、ユーフラテスは遠い水源のトルコから融雪洪水が流下してくるために時

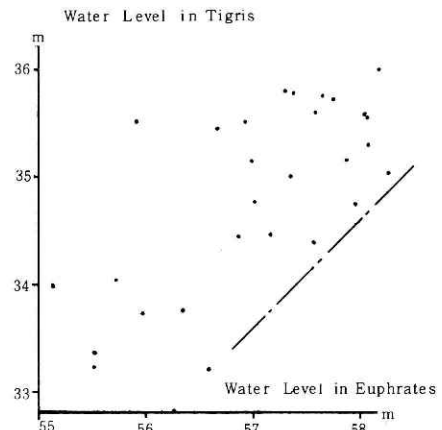


図5 チグリス・ユーフラテスの年最高水位の相関

Fig. 5 Correlation between Annual Maximum Water levels of Tigris and Euphrates.

表1 チグリス・ユーフラテスの最高水位発生回数

Table 1 Monthly Numbers of Occurrence of Maximum Water Level in Tigris and Euphrates from 1925 to 1954.

Month	チグリス Tigris	ユーフラテス Euphrates
January 1月	1	0
February 2月	4	0
March 3月	7	0
April 4月	10	15
May 5月	8	15

期が集中するのであろう。

最低水位の発生月はチグリスにおいては10月が多く、ユーフラテスでは9月が多い。

バグダッドにおけるチグリス川の水位が海面上 33.7mに達すれば洪水状態を意味する。同じく 35.0mは、 $5,400\text{m}^3/\text{s}$ に対応するが、危険洪水状態を意味する。1925年から1954年の30年に年最高水位が35mを越えた年は15年ある。

ここでタルタル湖 (Tharthar) の洪水調節を説明する。それはバグダッドの北西約 100 km の両川の間であって、出口のない湖であった。そして湖水は弱い塩水であった。チグリス川の水は入れることが可能なので、バグダッド付近のチグリス川の洪水を防ぐために1957年チグリス川の水をタルタル湖へ導くようにした。するとタルタル湖の塩分が増加して来たので、1976年タルタル湖から 37.5km の水路を掘ってユーフラテスへ少しづつ水を流すようにした。ユーフラテスの上流シリア領にダムが出来て、流量が激減したのでこのことが常に可能となったのである。約 40×60 km の湖は徐々に淡水化されて灌漑に利用できるようになり、砂漠は緑の土地になるであろう (Najeel, 1978)。

3. ビルマのイラワジ

イラワジ川の長さ 2090 km は、東隣を流れ出るサルウィン川に 1 位をゆずっているが、流域面積では 43 万 km^2 でビルマ第 1 の川である。北部のカチン州に源を発し、中部ヨマと東部ヨマ両山脈の間を流れマングレーをすぎから、西からはほぼ同程度の流域面積のチンドウィン川を合流して、アラカンヨマとペグヨマ両山脈の間を流れて、ヘンサダよりのデルタでは幾つもの派川に分かれてアンダマン海へ入る。年降水量は中部の乾燥地帯で約 750 mm、海岸沿いの地帯で約 5000 mm に達する。この雨は 5 月中頃から 10 月中頃までの雨期に 90% ぐらいが降る。年蒸発量はシャン州で約 1000 mm、乾燥地帯で約 1750 mm である。洪水は 8 月前後に必ず発生する (Than, 1976)。

流量観測は図 6 のような各地で行われている (U. Pike, 1974)。欠測の多いところもあるが、データはよく整理されていて、日流量年表等の他に水位—流量曲線を Chezy の式でまとめ、水位—平均流速曲線、水位—断面積曲線も整理されている。本川サガイン (河川長 986 km, 流域面積 $117,900\text{km}^2$) と、チンドウィン川のモニワ (河川長 838 km, 流域面積 $110,350\text{km}^2$) の年流量 Q_s と Q_m を加えたものが、合流後の下流プロム (河川長 1412 km, 流域面積 $340,390\text{km}^2$) の年流量 Q_p にほぼ一致する。表 2 参照。しかし細かくみると $Q_s + Q_m$ に対し Q_p は 30 ~ 1000 m^3/s 増している。もちろん、サガイン、モニワからプロムへかけての残流域 $112,140\text{km}^2$ の流出によるものと想像されるが、ここは乾燥地帯で日本には適切なデータがないので中国の例：図 11 を借用しよう。仮にこの残流域の年降水量 $P = 750$ mm とすると、 $\sqrt{S} = 14$ すなわち年流出量 $S \approx 200\text{mm}$ となる。残流域面積 $112,140\text{km}^2$ で年平均流量に直すと $711\text{m}^3/\text{s}$ となり、 $Q_s + Q_m$ と Q_p との差をほぼ説明できる。正確

注) 年流出量 = 年総流量 ÷ 流域面積

な降水量データを用いれば、より詳細な結果が得られるであろう。

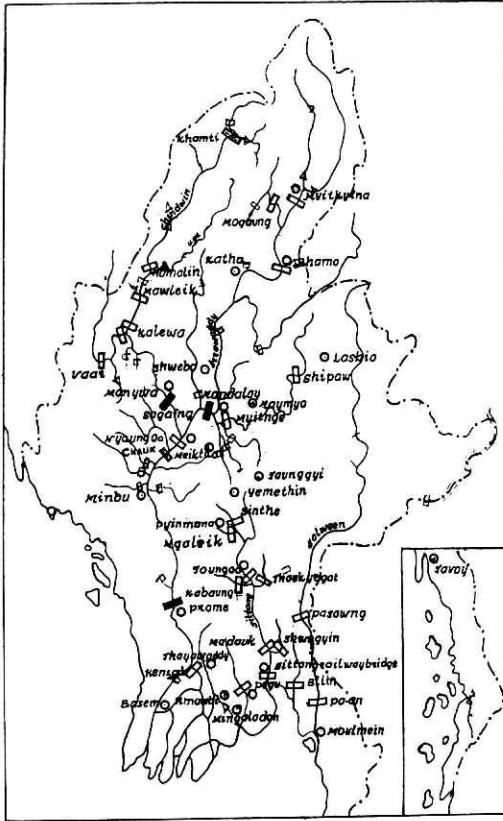


図 6 イラワジ流量観測所一覧

Fig. 6 Water Level and Discharge Stations in Irrawaddy in Burma.

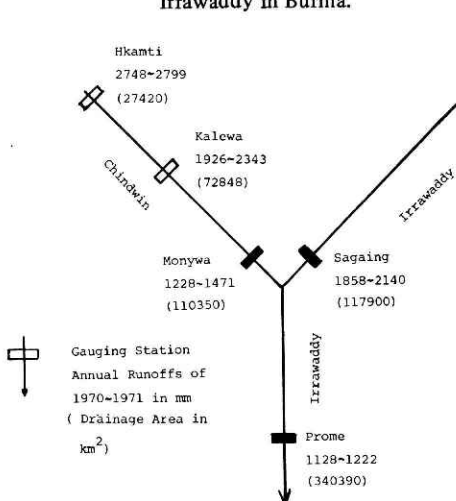


図 7 イラワジ年流出量

Fig. 7 Annual Runoffs at the Important Stations in Irrawaddy, 1970-1971.

表 2 イラワジ主要観測所における年流量

Table 2 Annual Mean Discharge in Key Stations in Irrawaddy. Q_s : Discharge in Sagaing, Q_m : Discharge in Monywa, Q_p : Discharge in Prome.

year	Q_s	Q_m	Q_s+Q_m	Q_p
1966	8796	5843	14639	15654
1967	6981	4020	11001	11951
1968	8203	4946	13149	14195
1969	6412	3811	10223	11008
1970	7525	4263	11788	12170
1971	8001	5149	13150	13189
1972	6104	2907	9011	8678

年流出量でみると図7のようになっている。本川サガイン上流で約2000 mm, チンドウィン川モニワ上流で約1300 mm, さらに, 上流カレワでは約2000 mm以上である。これは多雨で有名なアッサムに近いためであろう。

洪水の伝播を調べるため, 1967年～1974年の洪水についてサガインとモニワの日流量を加えて, そのピーク値とプロム日流量のピーク値とを比べると図8のようになる。図中の数字はおくれの日数で, ほぼ4日が平均値となってよく揃っている。これは洪水波形の減衰と支

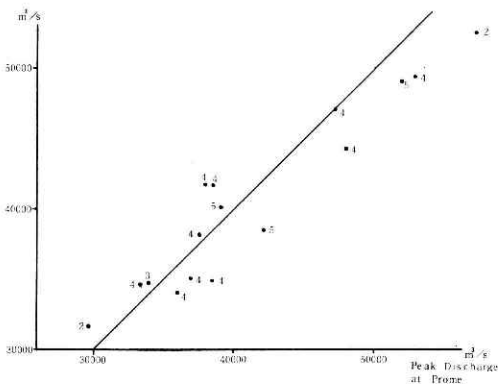


図 8 サガイン・モニワのピーク流量対プロムのピーク流量比較, 図中の数字はピークのおくれ日数。

Fig. 8 Correlation of the Peak Value of the Sum of the Discharges at Monywa and Sagaing to the Peak Value of the Discharge at Prome. Numerals means Time Lag in Day Unit.

川合流量が相殺しているかまたそれらが全くないかを示している。この間約400kmを約4日で流下するわけで、洪水波の伝播速度は時速約4 kmとなる。この事実はイラワジ川の洪水予報にも利用されていて、イラワジ川では水位—水位法によりマングレー・ラングーンにある上部・下部ビルマ地方事務所から洪水予報が出されるが、チョークからプロムまで伝播時間は5～7日といわれている（U. 1974）。図8で右上に2という点がある。これは1974年8月15日の大洪水における観測値であって、伝播時間が極めて短いこと、またプロムの流量がサガイン、モニワの流量の和より大きいことには注意しなければいけない。この時はチョー

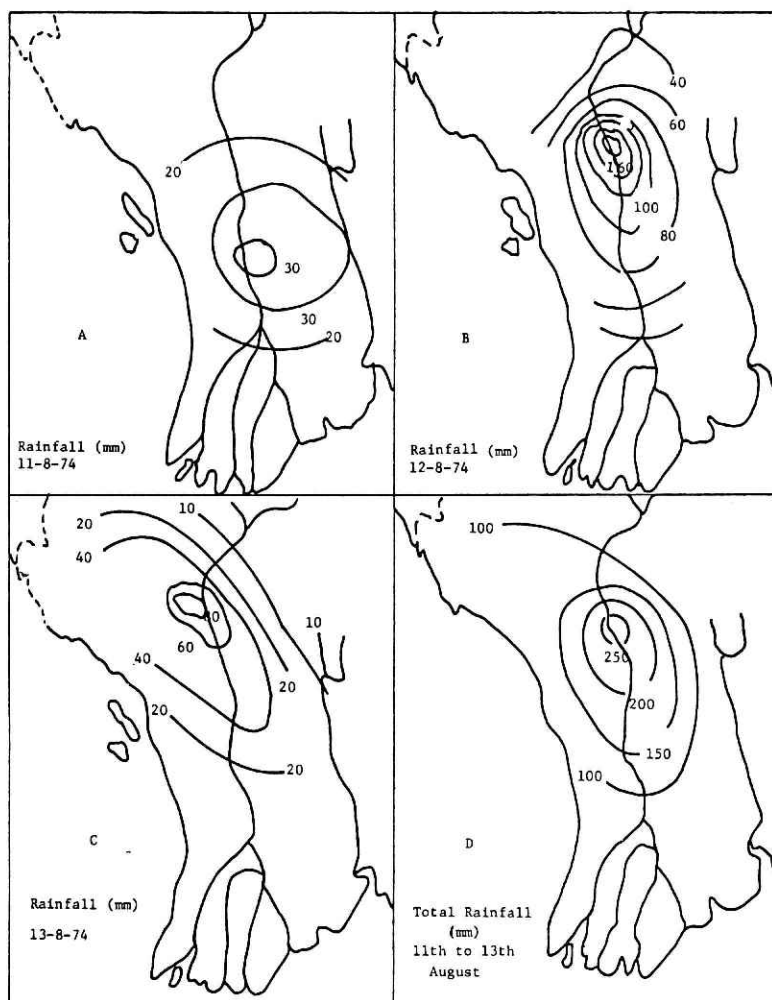


図 9 1974 年 8 月イラワジ中流部の雨量分布

Fig. 9 Rainfall Distribution at the Middle and Lower Basin of Irrawaddy, August, 1974.

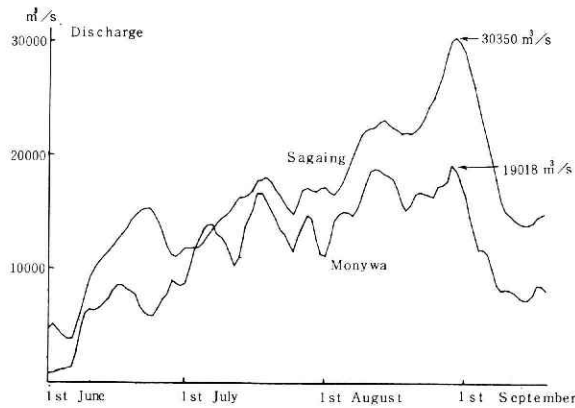


図 10 イラワジ本川・支川の洪水時における水位時間曲線, 1971
Fig. 10 Examples of Flood Hydrographs in Irrawaddy and Chindwin at Sagaing and Monywa, 1971.

ク・プロム間に8月11日から3日間にわたり、最高地点で250mmの雨がかった。この時の雨量分布を図9に示す。120km×320kmの長円形内に円錐状に降雨があり、特に根拠はないがその1/4が8月15日に流出したと仮定すると4,600m³/sとなってサガイン・モニワの流量52,500m³/sに加えると57,100m³/sとなってプロムの流量57,000m³/sと一致するので、定性的に残流域の流出で説明できそうである。またこれはいわゆる乾燥地帯にもこの程度の雨が降る事実に注意すべきことを示している。

洪水のハイドログラフの例を図10に示す。大きな高まりに重畳して幾つかの短周期の波があることはチグリスと似ている。本川（サガイン）、支川（モニワ）ともに似た形をとるのは大規模な季節風に支配された降雨による流出であることを示している。

4. 中国の河川、主として黄河

(1) 流出率

流出率は通常、流出量÷雨量という形で定義される。また雨量－流出量は損失量と呼ばれ、流出しなかった雨の量を指す重要な要素である。著者はかつて日本の大河川における年損失

表 3 中国主要河川の流出率
Table 3 Runoff Ratios of Major Rivers in China.

	Drainage Area 流域面積 A 10 km²	Mean Annual Discharge 年流量 R 10 m³	Mean Annual Runoff 年流出量 S R/A mm	Mean Annual Precipitation 年降水量 P mm	Annual Runoff Ratio 年流出率 S/P
Songhua River 松花江	546	76	139.2	566	0.246
Liao " 遼河	219	22	100.5	509	0.198
Hai " 海河	(319)	20.7	64.9	494	0.131
Yellow " 黄河	752	48	63.8	433	0.147
Huai " 淮河	260	39.3	151.2	849	0.178
Yangtze " 揚子江	1800	1020	566.7	1069	0.530
Pearl " 珠江	450	306.9	682.0	1395	0.489

量は、2, 3の例外はあるが、約500mmとなることを建設省技術研究会においてまとめ、それは水理公式集にも引用されている。

表3に中国河川の流出率・年流出量 S を示す。流域面積 A と年流量 R は、ESCAPの中国における洪水防御スタディ（1980年）の折のHUANG Wen Xi an氏のスピーチに拠った。年降水量 P は理科年表から計算した。統計年次が異なるので厳密なことはいえないがおおよその見当をつけるには役立つであろう。これらによると、北の河と南の河とで流出率は大きな値を示し、中央の河が最小となる。年降水量は松花江など東北部は600mm/年であるが、黄河上流部は300mm/年もない砂漠だからである。他方珠江では1500mm/年

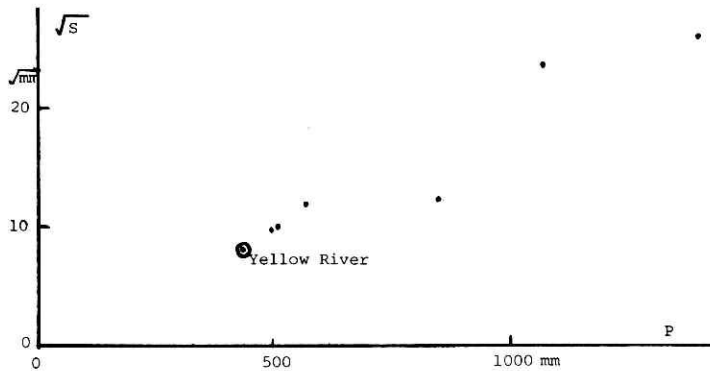


図11 中国主要河川における \sqrt{S} と P の関係

Fig. 11 \sqrt{S} ~ P Relation in Major Chinese Rivers, Where S is Mean Annual Runoff and P Mean Annual Precipitation.

の降水量があり日本の平均的状态に近いが、損失量は約700mm/年で日本より多く、したがって年流出率は約0.5とやや小さい。とにかく中国7大河川のうちで黄河は最も流出率の小さい部類にはいる。 S/P は P に比例していると思われる変化をする。図11のようにこれは S が P^2 に、したがって \sqrt{S} が P に比例するともいえる。日本のように P が大きい範囲では年損失量が一定（土木学会、水理公式集）となるが、 P が小さくなると中国においてみられるような傾向を示すので、中国の例は日本の場合の延長と考えることにより、一般的な傾向が理解されるのである（木下、1981B）。

(2) 黄河の上流・中流・下流の流出率：

表4に黄河の主要観測所の流出量を示す。これはCheng Xue min (1979)から引用したものである。これを縦軸にとり、横軸に上流から各観測所の流域面積をとったものが図12である。この図中の勾配は該当する区域の流出量を表わす。地名は付図参照。これをみると、

- ①水源～蘭州：乾燥地帯と思われがちだが流れ出す水は割に豊富である。流出量は約140mm/年である。降水量が300～400mm/年と推定されているから流出率は0.4程度で、実は黄河全域で最も大きい。

表 4 黄河の水文基礎データ
Table 4 Basic Data at Specific Locations Along Yellow River.

Location	Drainage Area (km ²)	Distance from River Source (km)	Elevation (m)	Annual Runoff Actually Recorded (10 ⁹ M ³)	average Silt Load per annum (10 ⁶ ton)
瑪 曲 Maduo	20,930	27.00	4,215	—	—
貴 德 Guide	133,650	1,742.0	2,201	20.2	20
蘭 州 Lanzhou	222,551	2,119.0	1,511	31.7	110
托克托 Toketo	385,966	3,471.6	984	24.7	148
竜 門 Lungmen	497,557	4,196.7	377	31.9	1,080
三門峽 Sanmenxia	688,421	4,438.8	270	42.0	1,678
花園口 Huayankou	730,036	4,695.9	89	47.0	1,400
利 津 Li Jin	751,869	5,360.0	7.4	—	1,250
河 口 River Mouth	752,443	5,643.6	0	—	—

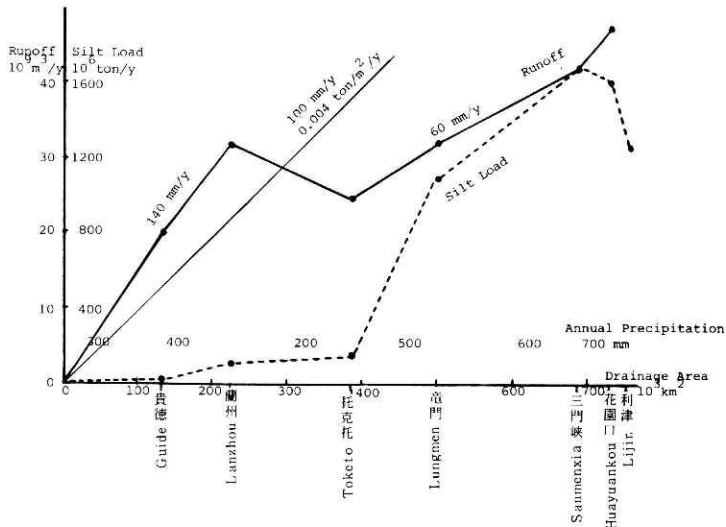


図 12 黄河各地区間の年流出量と流域面積
Fig. 12 Runoff of Local Inflow in the Yellow River Basin.

②蘭州～托克托：塞上の江南と呼ばれる所で、ここからの流出量はマイナス。砂漠の中へ2000年前からの灌漑システムが水を引いてしまうので損失量がこの降水量を上まわる。

③托克托～花園口：黄土高原を流れる。この付近よりの流出量は60mm/年、降水量が500～600mm/年と推定されるから年流出率は0.1である。これは異常に小さい値である。花園口は扇状地へ出ているので一歩手前の三門峽をとっても傾向は同じ、峡谷部だから著しい伏流水となって水が逃げるとは考えられない。この区間で黄河が浮遊土砂を一挙に増すことはあまりにも有名であり、過去の大洪水は三門峽の前後に大雨が降った時に発生し

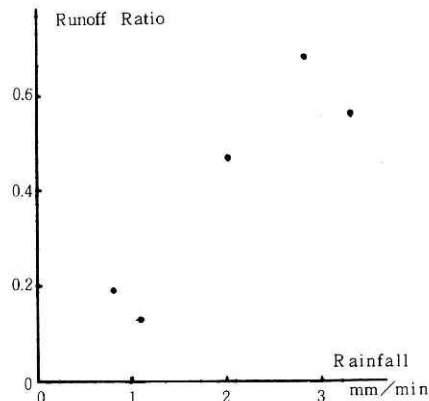


図 13 Jiuyuan 谷における短時間降雨の流出率
Fig. 13 Runoff Ratios of the Short Storms observed in Jiuyuan Valley.

表 5 Jiuyuan 谷における短時間降雨の流出率及び土砂流出量

Table 5 Runoff Ratio and Soil Loss in Short Storms in Jiuyuan Valley in the Yellow River Basin.

Date	Rainfall		Rain storm		Runoff per Unit Area $A \left(\frac{10^3 \text{ m}^3}{\text{km}^2} \right)$	Soil Loss per Unit Area ton/km ²	Runoff Ratio A/B
	B Average in the Watershed mm	Duration hr	Intensity mm/min	Duration min			
Aug. 8 1956	45.1	2.40	2.0	7.0	21.1	18,500	0.47
Aug. 20 1959	79.9	18.90	0.8	10.0	15.2	12,150	0.19
Aug. 1 1961	57.7	3.14	3.3	10.0	32.1	26,200	0.56
July. 5 1964	129.1	18.81	1.1	8.0	17.2	15,600	0.13
July. 17 1966	78.8	5.74	2.8	5.0	53.94	29,100	0.68
Flood Season							
1958	506.2				50.7		0.100
1955	285.6				115.5		0.040
Yearly Average	362.0				24.3		0.067

ている。にもかかわらず年流出率が著しく小さい。

(3) 黄河中流部黄土地帯の短期流出：

この点については Jiuyuan 谷において詳細な調査がなされた。表 5 は龔時 鳴・蔣 德 祺 (1978) によるデータである。この流域は流域面積 70.1km² の極めて小さい流域で、1956 年から 1966 年にかけての 5 回の雨で総雨量 mm、総流出量 (m³/km²) が与えられているのでここの一雨雨量 (3～18 時間) ごとの流出率が求められ、それを瞬間雨量強度 (mm/min) と比べると図 13 のようになる。表 5 によると強雨が何回も現われ、大きな流出率が観測されていて、雨量強度と流出率はほぼ直線的な関係を持っていることがわかる。流出率が 100 %

をこえる範囲まで延長できるとは思えないが、異常に大きな流出率である。

1958年の洪水期等の流出率が求められる。これは次節で述べる通りの大洪水であるが、この地点における洪水期流出率は0.1と大へん小さい。以上から類推すると、黄河の黄土地帯では一般には年流出率は大へん小さいが集中的に強雨が降ることがしばしばあり（この点は日本も同じであるが）、その時に極めて大きい流出率で流出が発生し、それが直下流で洪水となるのであろう。もしこの強雨がかなり広い範囲で何回もくり返し発生すると、下流で大洪水になると思われる。

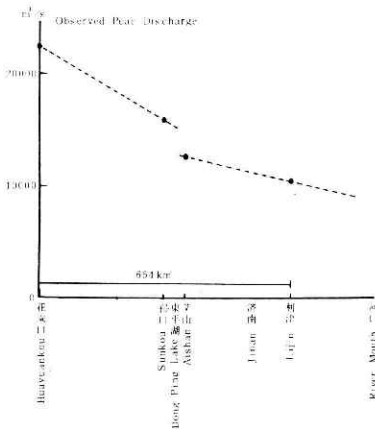


図 14 黄河における 1958 年 7 月洪水のピーク流量

Fig. 14 Observed Peak Discharge in Yellow River in July 1958.

表 6 黄河における 1958 年 7 月洪水のピーク流量
Table 6 Observed Peak Discharge in Yellow River in July 1958.

Gauging Station	観測所	
Sanmen xia	三門峽	(22000 m^3/s 但し 1933 年)
Huayuankou	花園口	22300 m^3/s
Sunkou	孫口	15900
Dong Ping Lake	東平湖	(5000 但し東平湖への分流量)
Aishan	艾山	12600
Lijin	利津	10400

(4) 1958年7月17日の洪水（木下，1981A）

黄河では大洪水が発生した。現在この洪水を計画高水としてこの時の水位に余裕高を加えた水位を計画高水水位としている（木下，1981C）。この時の実測流量（すなわち計画高水流量）は図14及び表6の通りである。花園口は黄河が晋陝地峽から三門峽ダムを経て華北平野の扇状地へ出た扇頂のちょっと下流で、鄭州の郊外にあり、あたかも利根川の基準地点八斗島が伊勢崎の郊外にあるのと似ている。

黄河展覽館資料によればこの時の雨域はほぼ潼関～三門峽～鄭州の間にあり、陶詩言「中国之暴雨」（科学出版社）によれば、大雨の中心は山西省垣曲であった。第1の雨は14日8時～14日20時、第2の雨は15日20時～16日20時、第3の雨は16日20時～17日8時でこれが最も大きかったようで、第4の雨は18日8時から19日8時までであった。16日午前には台風（5809）が福建省に上陸し衰弱している。これとは別に日本海上には高気圧が停滞し、さらに西からやって来た干（乾）冷氣流が垣曲まで寒冷前線を押し出して来て南北に横たわった所で停止し、南東からの暖湿気流と北東からの冷氣流とが停滞前線を作りそれらが垣曲付近で著しい収束部を作ったため大雨になったと解釈されている。図15参照。

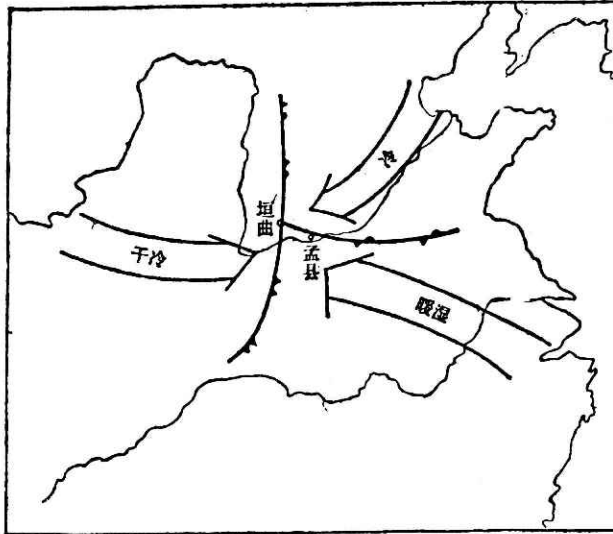


図 15 1958 年 7 月 16 日 20 時黄河中流における冷暖空気移動図
Fig. 15 Meteorological Explanation of the Cause of the Storm in July 1958. Movements of Air Masses at the Yellow River Middle Basin 20'00, 16 July 1958.

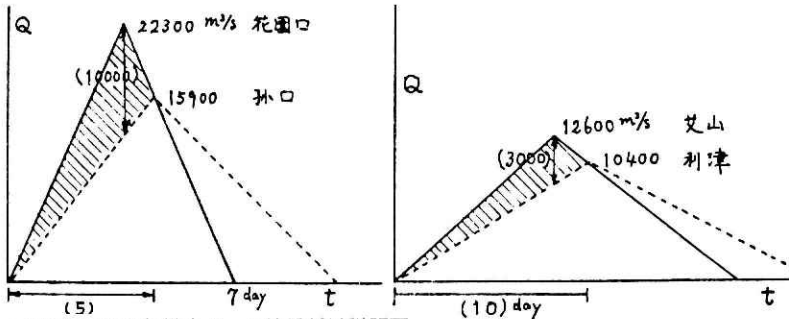


図 16 1958 年洪水ピーク流量低減説明図
Fig. 16 Schematic Explanation of Peak Discharge Reduction in the Case of the Flood in 1958.

ピーク流量が下流へ行くほど減っている(木下武雄, 1981A)。東平湖へ洪水流量 $5000 \text{ m}^3/\text{s}$ ほどがはいって遊水されたのは記録にあるので段差ができる(黄河水利委員会)のはわかるが、他区間では河道遊水でこのように低減したというが、果してそれが可能かを概算してみる。花園口での洪水継続時間が7日というから洪水波形を三角形、河道断面を長方形と仮定し、流量低減を算出してみる。花園口から孙口まで約 250 km の区間に $22300 \text{ m}^3/\text{s}$ が $15900 \text{ m}^3/\text{s}$ となったので、図16のように単純化して貯留体積を推定すると約 22 億 m^3 となる。この区間を川幅 10 km 、水位上昇 6 m で河道貯留が行われると仮定すると 150 億 m^3 となる。同様に艾山・利津間も図16右のように貯留体積を推定すると約 13 億 m^3 、区間距離 200 km 、川幅 4 km 、水位上昇 5 m で河道貯留が行われると仮定すると 40 億 m^3 となり、正確には実測断面を用いて不定流計算をせねばならないが、いずれの場合も河道体積が遥かに大きいことが

らこの程度の流量低減は可能と思われる。この洪水は周期が大へん短いことが特徴で、チグリス（図4）、イラワジ（図10）と共に、大河川の短周期洪水として注目すべきであろう。

5. ま と め

以上チグリス・ユーフラテス、イラワジ、黄河の諸河川の洪水について、手許の資料からわかる限りのことを調べた。ここにあげた河川はいずれも日本全土と同程度または2倍程度の流域面積をもつ大河川である上に水文条件もそれぞれ著しく異なる。しかし、洪水波の変動が意外に短周期である点は一致していて、これは大河川の洪水といっても、下流部とか支川とかに降った雨などが影響していると思われる。日本においても信濃川などの大河川ではそのような傾向がみられるが、極端な例は黄河で、下流の洪水を考えると、晋陝地峡上流は無関係ともいえる流出特性であって大河川の流出予測等におけるむずかしさの一つであり、イラワジでもそのような大洪水の例があることは3.において示した通りである。このような現象の解明のためには密度の高い水位・流量の観測が必要で、事実、強力に実施されていて精度の高いデータが集積されている。しかし、組織上の問題のためか雨量・気温等と比べることは十分ではなく、流出率とか、流出量とかいう概念もあまり定着していないようである。これら海外の河川の洪水の情報を相互比較することは新しい知識をみつけることにつながるので大へん重要である。

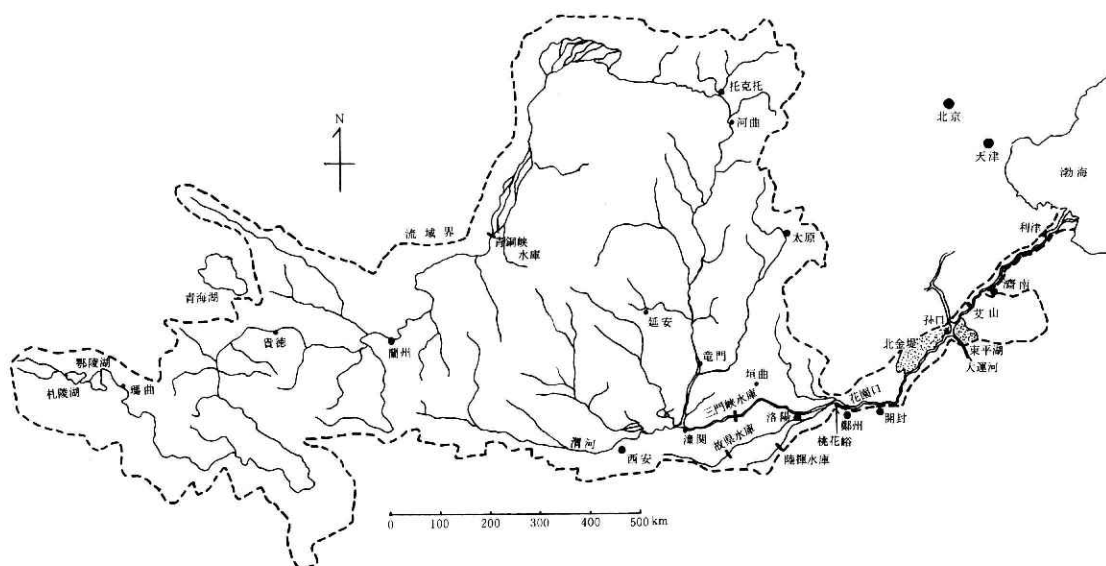
それぞれの国では洪水による被害軽減のために洪水予報・水防組織や堤防・貯水池の建設などには大きな努力が払われており今後これらの国の発展には大きな期待が寄せられている。しかし他方で、国の経済・社会の発展は洪水の流出形態に変化を及ぼし、洪水が激化する可能性も十分考えられる。そのような意味で、現在の資料も発展しつつある流域における変化しつつある流出形態の一断面とみるべきなので資料の評価もむずかしい。日本においてはこのような国の発展による流出の変化が早くから注目されており、それらの経験を交流して、安全で効果的なそれぞれの国の発展に尽せたら大へん幸である。そのための基礎的なデータとりまとめとして発表させていただいたことを感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) Awad Suhail (1979): The Disaster in Iraq. Final Report of the Seminar on Technology for Disaster Prevention, Vol. 3, NRCDP.
- 2) Cheng Xuemin (1979): Water Resources Planning of the Yellow River. Workshop on Water Resources Planning: Experiences in a Regional and National Context, Rome.
- 3) 龔時暘・蔣德祺 (1978): Soil Erosion and Its Control in Small Watersheds of the Loess Plateau. *Scientia Sinica*, Vol. XXII, No 11.
- 4) 黄河水利委員会 (1979): 黄河万里行. 上海教育出版社.
- 5) 木下武雄 (1981 A): 黄河の計画洪水流量. 第8回関東支部年次研究発表会講演概要集, 土木学会関

東支部。

- 6) 木下武雄 (1981 B) : 黄河の流出率. 第25回水理講演会論文集, 土木学会.
- 7) 木下武雄 (1981 C) : 黄河の治水 (防洪). 水利科学, No 137.
- 8) 木下武雄 (1981 D) : 海外の河川の洪水特性 (その1). 第36回 土木学会年次学術講演会.
- 9) Najeel Kamal A-Razzaq (1978) : Final Report of the Seminar on Technology for Disaster Prevention, Vol. 2, NRCDP.
- 10) Than Htwe (1976) : Hydrological Flood Forecasting and Warning System in Burma. Proposals of the Flood Forecasting and Warning Systems in the Countries of Asia, Vol. 4, NRCDP.
- 11) 陶詩言 (1980) : 中国之暴雨. 科学出版社.
- 12) U Pike (1974) : Irrawaddy River, Burma. Proposals of the Flood Forecasting and Warning Systems in the Countries of Southeast Asia, Vol. 2, NRCDP.



付図 黄河流域図