

バングラデシュの洪水災害

岡 太郎

要 旨

バングラデシュ国には、ガンジス河・ブラマプトラ河・メグナ河の三大河川および50本を越える中規模河川が国外より流入しており、洪水氾濫が繰り返されている。同国の洪水は産業経済の発展のために大きな障害になっている。また、近年人口増加が急激に進み、水資源の確保も緊急課題になってきている。ここでは、バングラデシュの洪水・水資源対策を検討する際に不可欠である国際河川よりの流入量の推定及び低地部の洪水氾濫機構についての研究結果の一部を述べる。

キーワード：バングラデシュ，洪水災害，水資源，洪水氾濫，氾濫湖

1. はじめに

バングラデシュ国の大部分はガンジス，ブラマプトラおよびメグナ河によって造られた氾濫原である。これらの三大河川および国外（主としてインド）より流入する中規模河川がもたらす洪水によって毎年のように国土のかなりの部分が浸水するが，古くから住民は洪水を生活の中に取り込み洪水とともに生活してきた。しかし，近年，洪水は諸産業の発展のために障害になるうえに，環境・保健衛生の側面からも放置できない課題になっている。

このような問題を解決するために，バングラデシュ政府は行政組織を整備するとともに大学に研究所を設置して，洪水問題の解決に当たってきた。しかし，歴史的な背景もあって，バングラデシュ国の関係者は，国境より外側の降雨流出現象については目を向けようとしていない。地球規模で気象のみならず地形データが整備されようとしている21世紀において，関係者は国外の現象に関心を持って，将来の施策を考えておかねばならぬ時期に来ているといえよう。

そこで，バングラデシュ国の研究者と共同して，洪水対策の基礎となる国外より流入する洪水流量の推定法及びバングラデシュ国の北東低平地域に散在する氾濫湖の消長に関する数理モデルの構築について研究を行ってきた。ここでは，これらの研究結果の一部を紹介する。

2. バングラデシュ国の概要

2.1 位置・地形・気候

バングラデシュは，Fig. 1 に示すように北緯 20 度 34 分から 26 度 38 分，東経 88 度 01 分から 92 度 41 分の間に位置し，北回帰線が同国のほぼ中央を通っている。国土の面積は約 147,570km²であり，西・北・東をインド，南東をミャンマー，南をベンガル湾に囲まれている。

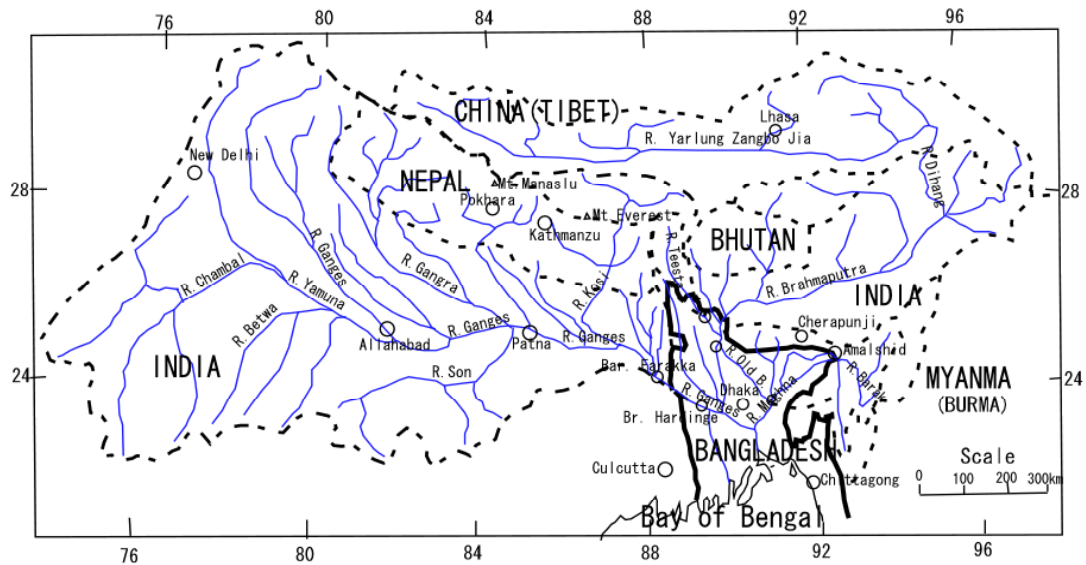


Fig. 1 Schematic depiction of the Ganges, Brahmaputra and Meghna River Basins

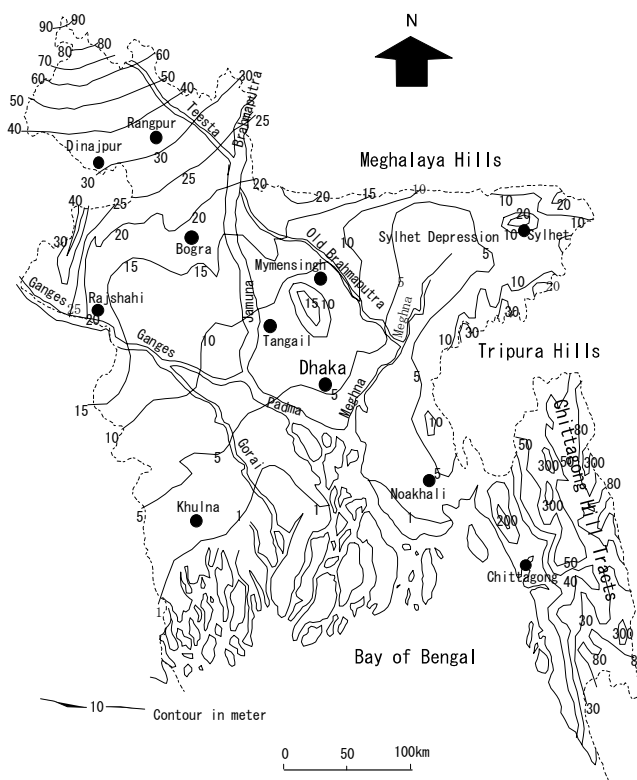


Fig. 2 Topographical map of Bangladesh (Harza, 1986)

Fig. 2 は同国の地形の概略である。国土の50%以上が海拔7m以下、80%が三大河川の氾濫原であり、台地は8%、丘陵地は12%、最高標高は900mであるといわれている。

三大河川は国外に源を発し、西からガンジス河、北からブラマプトラ河、北東からメグナ河が流入し、

バングラデシュの中心部を貫いてベンガル湾に注ぐ。国内にはこの他にも大小200本以上の河川が存在し、そのうち57河川は国外からの流入河川である。河川の総延長は24,000km、水面積は9,770km²で、国土の7%にのぼる。Fig. 3 に河川分布を示す。

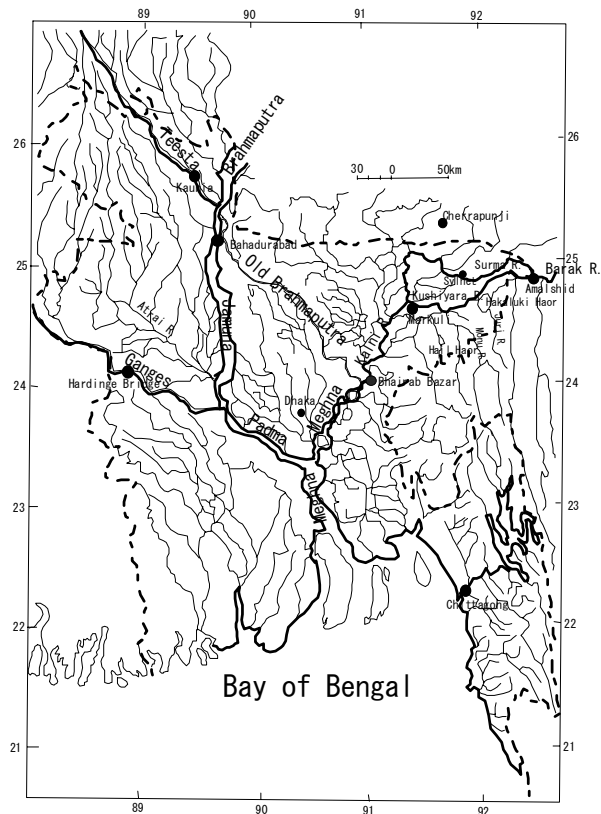


Fig. 3 River system of Bangladesh (Islam and Miah, 1981)

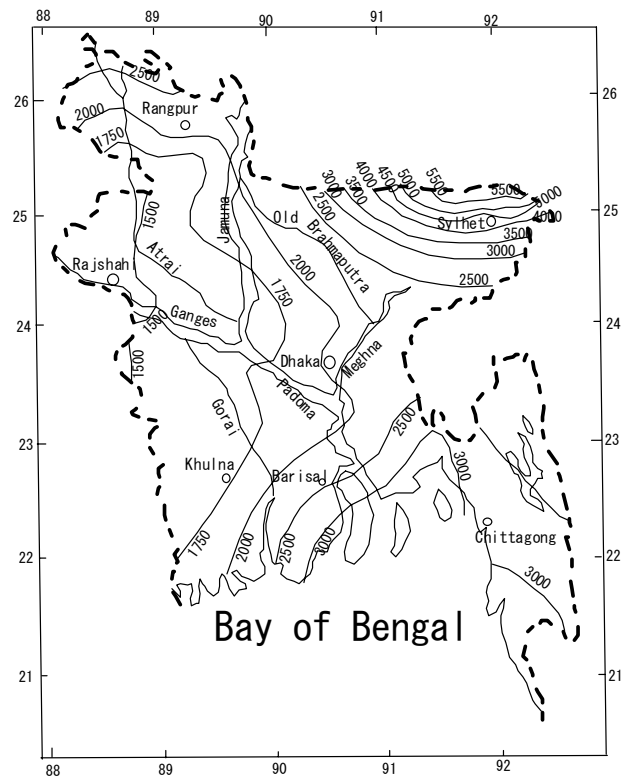


Fig. 4 Isohyetal map of annual rainfall (Brammer, 1996)

バングラデシュは亜熱帯モンスーン気候地帯に属し、乾季（11月～4月）と雨季（5月～10月）に大別される。月平均気温は1月が18℃（最低）であり、4月、5月は30℃（最高）である。Fig. 4はバングラデシュ国の年平均降水量の分布である。全国年平均降水量は2,200mmであり、全降雨量の80%以上が5月から10月の雨季に集中する。年降雨量は、西部は少ないが、北東部で多く、5,000mm/y を超す豪雨地帯がある。これは、雨季にメグナ河に沿って湿った空気が流れ込みメガラヤ山脈（最高峰1,964m）に当たり、豪雨を発生させることに起因しているといわれている。なお、国境より30kmほど北には年間雨量26,461mm（1860年8月－1861年7月）の世界記録をもつチェラプンジ（Cherrapunji）がある。

2.2 基礎データ

バングラデシュは1947年8月14日にパキスタンとし

て独立し、東パキスタンとなる。その後、1971年3月26日にバングラデシュ人民共和国としてパキスタンより独立した比較的若い国である。首都はダッカ、2000年7月推計の人口は1億3千万人、人口増加率は1.6%である。民族は98%がベンガル人、公用語はベンガル語、宗教はイスラム教徒88%、ヒンズー教徒10%、仏教徒0.6%、キリスト教徒0.3%である。通貨はタカ(Taka)、為替レートは1米ドルが58タカ（2003年3月）、一人当たりのGNPは370米ドル（1999年）、主要産業は農業・ニット製品・養殖・ジュートである。主要貿易品目は輸出製品として、ニット製品、養殖エビなどの冷凍食品、ジュート製品、皮革であり、輸入品は米を除くほとんど全てであり、原油・鉄鋼はもちろん建設に用いる砂・礫までも輸入している。

バングラデシュは外国よりの援助が不可欠の国であり、主要援助国は(1)日本、(2)英国、(3)ドイツ、(4)オランダ、(5)カナダである（外務省ホームページ、2004）。

3. ガンジス・ブラマプトラ・メグナ河流域の概要

バングラデシュでは、ガンジス河・ブラマプトラ河・メグナ河を GBM 水系（GBM river system）と呼んでいる。

Table 1 に 3 大河川の諸元を示してある。ただし、ガンジス川の流域面積については、インダス河流域との境界が明確にできなかったため多くの誤差を含んでいる。

3.1 ガンジス河流域

ガンジス河はヒマラヤ山脈の南斜面に源を有する世界屈指の大河川である。Photo 1 にガンジス河の源流に近いアンナプルナ連峰を示す。ただし、ガンジス河の支川のうちコシ川などはヒマラヤ山脈の谷間を縫うようにして北側に延びており、チベット（中

国）に流域を有している。Photo 2 はネパール・中国国境（橋上の赤い線）より見たチベット側である。

ヒマラヤ山脈の南斜面は北から南へ様に傾斜しているのではない。まず北に大ヒマラヤ山脈があり、いったん盆地にくだる。この盆地の南側にもう一列の 2,000m～3,000m 級の山脈がある。したがって、大ヒマラヤ山脈の融雪水・雨水は盆地を東西に流れる河川で集められ、次の山脈の間を急流となつてくだりインド平原に達する。

ガンジス河の南側については、チャムバル（Chambal）、ベトワ（Betwa）、ソン（Son）河などの河川があり（Fig. 1）、集水面積は大きい、モンスーン季に降雨が集中する地形ではない、蒸発量が多いと考えられるため流出量は少ない。



Photo 1 Source area of the the Ganges River basin
(Annapurna mountain range)



Photo 2 Upstream of the Ganges River in China (Tibet)

Table 1 Area, length and average flow of the huge rivers

	Ganges R.	Brahmaputra R.	Meghna R.	Amazon R.	Tone R.
Area of Drainage Basin (sq. km)	1,090,000	537,500	77,000	7,050,000	16,840
Length of Main Channel (km)	2,200	2,900	900	6,300	322
Average River Flow (m ³ /s)	11,300	20,200	4,600	214,200	311

3.2 ブラマプトラ河流域

ブラマプトラ河は、東経 82°，北緯 30° 30' 付近のチベット高地に源を発し、ヒマラヤ山脈の北側斜面の融雪水・雨水を集めながら東進し、東経 95°・北緯 29° 50'（標高 4,000m～2,000m）に達する。この東進区間は Yarlung Zangbo Jiang 河と呼ばれている。この地点より東経 95° 30'・北緯 28°（標

高 100～200m）まで急流となって南下する。この急流区間はディハン（Dihang）河と呼ばれ、この地域は多雨であり、バングラデシュの洪水を形成すると考えられている。

なお、チベット高原を東進している区間では、地形上降雨は少ないとされているが、1987 年にはラサ（Lhasa）で 100mm/day を超える降雨を記録している。

また、テレビのドキュメント番組などで降雨による増水のため川をジープで渡れなかったということが報じられている。したがって、流出解析ではヒマラヤ山脈北側の降水量についても十分注意が必要であるといえよう。なお、この地域では人は多く住んでおらず降雨観測データは極めて少ないので、流出状況は把握できていない。

その後、東経 $95^{\circ} 30'$ ・北緯 28° （標高 100~200m）地点で流れを西向きに変えたあと、ブラマプトラ河となって、インド領 Arunachal 地方、メガラヤ山脈の北斜面およびブータンの融雪水・雨水を集めバングラデシュに達する。

ブラマプトラ河は、1767 年当時は現在オールドブラマプトラ（Old Brahmaputra）河と呼ばれている位置を流れており（ISPAN, 1993）、現在の本流であるジャムナ（Jamuna）河は支流であった。それが 1820~1834 年に本流がジャムナ（Jamuna）河に移り、アリチャ（Aricha）でガンジス川に合流するようになった。

ガンジス川と合流後は、パドマ（Padma）河と名前を変え、120km 下流のチャンドプール（Chandpur）でメグナ河と合流する。なお、パドマ河の河幅は 12~15km、最大で 30km に及ぶといわれている。

3.3 メグナ河流域

メグナ河はインド領のマニプール（Manipur）（インパール付近、ただしインパールは流域外）とミゾラム（Mizoram）の山岳地帯に水源を有し、インドではバラク（Barak）河と呼ばれている。この流域は褶曲地形を呈し、南側の領域（Mizoram）では、標高が 1,500~1,800m の 10 列の山脈が南から北へ走っており、バラク河の支川はその山脈の間を北上している。

北側の領域（Manipur）は 2,000m を超える山岳地帯であり、最高標高は Japvo 山の 3,014m である。この領域ではバラク川の支流は北東から南西へくっっている。南と北からの主流はシルチャル（Silchar）の東で合流し、その後、西に進みアマルシッド（Amalshid）でバングラデシュに流入する。その後直ちにスルマ（Suruma）川とクシヤラ（Kushiyara）川に分岐する（Photo 3）。わが国では、自然河川は下流で合流するのが一般的であるが、バングラデシュでは河川の分岐は珍しいことではない。

スルマ河はインドとバングラデシュの国境沿いに進み、シレット（Sylhet）市を通りマルクリ（Markuli）に達する。この間、東メガラヤ山岳地帯の雨水を集める。一方、クシヤラ河は南の国境沿いに進み、トリプラ丘陵地の雨水を集めながらマルクリ（Markuli）でスルマ河と合流する。合流後はカルニ（Kalni）河

と名前を変えるが、西メガラヤ山岳地域からの幾つかの河川を合流しながら、約 80km くだってバイラブバザール（Bhairab Bazar）に達する。バングラデシュではバイラブバザールより下流をメグナ河と呼んでいる。さらに、パドマ河と合流後、ベンガル湾に出るまでの区間（約 160km）をローワメグナ（Lower Meghna）と呼んでいる。現在、ガンジス河の右支川であるゴライ（Gorai）河はガンジス河の水を流下させておらず、3 大河川のベンガル湾への出口はメグナ河（Lower Meghna）のみであるとされている。



Photo 3 Diverging point of the Barak River (Amalshid)

3.4 三大河川の水位・流量変化

三大河川には、バングラデシュ水資源開発局（BWDB: Bangladesh Water Development Board）によって複数の水位観測点が設けられており、主要地点では流量観測も行われている。ガンジス川についてはハーディング鉄橋（Hardinge Bridge）、ブラマプトラ河についてはバハドラバッド（Bahadurabad）、メグナ河ではバイラブバザール（Bhairab Bazar）が代表的な観測点であり、わが国の基準点に相当するものといえよう。

Fig. 5 に、これら 3 地点の 1987 年 4 月 1 日より 1989 年 12 月 31 日の約 3 年間の水位変化を示してある。Fig. 6 は、同期間の流量ハイドログラフである。これらの流量は水位～流量曲線より得られたものであり、当時 1 断面の流量観測に約 1 週間を要したといわれており、水位と流量に時間差が見られるなどの若干のずれはやむをえない。なお、近年は ADCP（Acoustic Doppler Current Profiler）が導入され、短時間に流量観測が可能になったと聞いている。

Table 2 には 1987 から 1989 年のピーク水位とその発生日および 4 月 1 日の水位、Table 3 にはそれぞれの流量を示してある。なお、1987・88 年は国家的規模の洪水が発生した年であり、1989 年は洪水がほとんど見られなかった年である。

Fig. 5 と Table 2 より、乾季と雨季の水位差は、ガ

ンジス河のハーディング鉄橋地点（Hardinge Bridge）で洪水年には 9～8.5m，非洪水年でさえも約 8m，ブラマプトラ河のパハドラバッド（Bahadurabad）では洪水年で 6m，非洪水年で 5.5m，メグナ河のバイラブバザール（Bairab Bazar）では洪水年で 6m，非洪水年で 5m である。すなわち， Bangladesh の主要河川の水位は洪水年で 9～6m，非洪水年でも 8～5m ほど変化しており，雨季と乾季の水環境の差がいかに大きいかが分かる。また，どの地点でも非洪水年よりわずか 1m 程度水位上昇しただけで国家的規模の水害が発生することも明らかになる。

流量は，流域規模や上流域の降雨によって大きく異なり，最大流量はガンジス河では約 7.6 万 m^3/s （1987），ブラマプトラ河では 9.4 万 m^3/s （1988），メグ

ナ河では 2 万 m^3/s （1988）であった。洪水年と非洪水年のピーク流量を比較すると，ガンジス河では 2.5 倍，ブラマプトラ河とメグナ河で 1.3 倍である。ガンジス河については洪水年と非洪水年の流量比が大きく一応理解できるが，ブラマプトラ河・メグナ河については 3 割しか多くなく理解しにくい。ただし，ブラマプトラ河は非洪水年でも流量が大きいため，3 割の増加が大洪水の要因になるものと考えられる。メグナ河についてはバイラブバザール（Bairab Bazar）が，感潮区間であり，水位変化が潮位に依存するため流量はその影響を強く受ける。そのため洪水年でも 3 割程度しか増大しないものと考えられる。反面，上流側で毎年大規模な貯留・氾濫が起こっている。

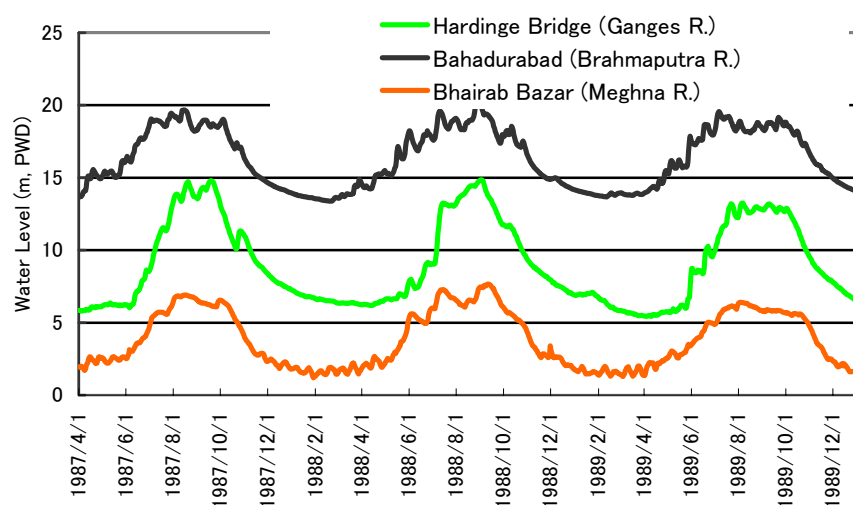


Fig. 5 Water levels of the Ganges, Brahmaputra and Meghna Rivers (Source: BWDB)
(PWD(the Public Work Datum) is located approx. 1.5ft(0.457m) below the Mean Sea Level.)

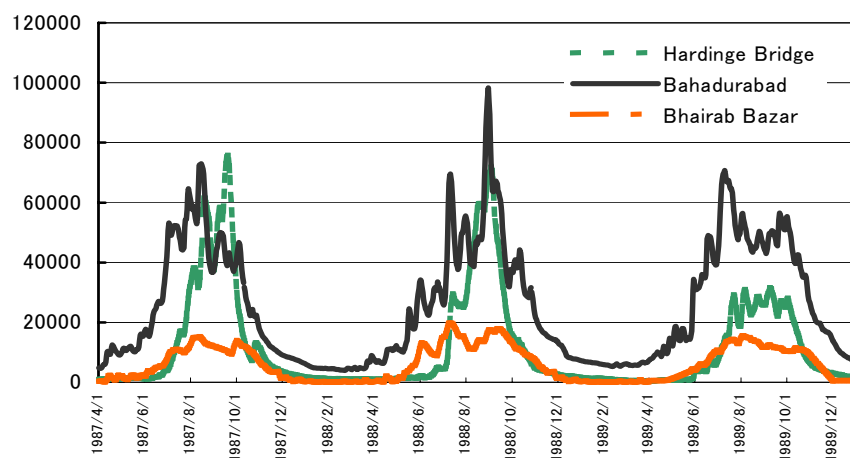


Fig. 6 Discharges of the Ganges, Brahmaputra and Meghna Rivers (Source: BWDB)

Table 2 The lowest and highest water levels 1987, 1988 and 1989 Floods (Source: BWDB)

	1987		1988		1989	
	Low W. L.	Highest W. L.	Low W. L.	Highest W. L.	Low W. L.	Highest W. L.
Hardinge Bridge (Ganges R.)	5.85m	14.79m (Sept. 18)	6.23m	14.86m (Sept. 2)	5.45m	13.26m (Aug. 6)
Bahadurabad (Brahmaputra R.)	13.71m	19.68m (Aug. 15)	14.49m	20.52m (Aug. 29)	13.95m	19.56m (Jul. 6)
Bhairab Bazar (Meghna R.)	1.94m	6.91m (Aug. 16)	1.93m	7.66m (Sept. 10)	1.34m	6.41m (Aug. 3)

Table 3 The peak discharge of 1987, 1988 and 1989 Floods (Source: BWDB)

	1987	1988	1989
Hardinge Bridge (Ganges R.)	75,800m ³ /s (Sept. 19)	71,800m ³ /s (Sept. 2)	31,000m ³ /s (Aug. 6)
Bahadurabad (Brahmaputra R.)	71,800m ³ /s (Sept. 3)	94,400m ³ /s (Aug. 29)	67,500m ³ /s (Jul. 12)
Bhairab Bazar (Meghna R.)	15,200m ³ /s (Aug. 13)	19,800m ³ /s (Jul. 11)	15,500m ³ /s (Aug. 3)

Table 4 Flooded area, Damages and Population

Year	Flooded Area (sq. km.)	Percentage of total area	Cost of Damage (approx. million Taka)	Population (1000 persons)	Deaths (Number of persons)
1951				41,932	
1954	36,920	25	1,200		112
1955	50,700	34	1,290		129
1956	35,620	24	900		
1961				50,840	
1962	37,440	25	560		117
1963	43,180	29	580		
1968	37,300	25	1,160		126
1970	42,640	28	1,100		87
1971	36,475	24	-		120
1974	52,720	35	28,490	71,478	1,987
1981				87,120	
1984	28,314	19	4,500		553
1987	57,491	38	35,000		1,657
1988	77,700	52	100,000		2,379
1991				111,455	
1995				119,957	
1998	100,000	68	100,000	122,125	1,000

Source: BWDB and BBS (Bangladesh Bureau of Statistics)

4. 洪水災害の変遷

Table 4 に、水資源開発局 (BWDB) によって公表されている 1954 年～2002 年の洪水氾濫面積・被害額・犠牲者数およびバングラデシュ統計局 (BBS: Bangladesh Bureau of Statistics) より公表されている人口をまとめている (Rahman, B. et al., 2002)。1998 年に既往最大の国家的規模の洪水が発生し、1988・1987 年の洪水がそれにつぐものであることが分かる。Table 4 より、独立以降、水害による被害額、犠牲者数が増加しているが、人口増加がその要因となっているものと考えられる。

Photo 4・5 に人工衛星より得られた 1987・1988 年の洪水氾濫写真を示してある (SARRSO 提供: Bangladesh Space Research and Remote Sensing Organization)。黒く見える部分が氾濫域である。1987 年は、ブラマプトラ河周辺とブラマプトラ河とガンジス河に挟まれた低地部で氾濫が顕著である。メグ

ナ河流域では標高が 7m 以下の低地部では氾濫しているが、メグナ河上流部 (シレット付近) では大規模な氾濫は見られない。

Photo 5 は、1988 年 9 月 24 日の洪水氾濫状況である。ブラマプトラ河が氾濫して河幅を異常に拡大しているが、右岸低地部の氾濫域は 1987 年に比較して狭い。一方、メグナ河流域ではほとんど全域が水没しており、バングラデシュ北東部で洪水災害が甚大であった様子がよく分かる。

1988 年の氾濫が 1987 年を上回る規模になった原因は Fig. 5 に見られるようにブラマプトラ河とガンジス河の洪水のピーク発生時期が一致したためであるといわれている。しかし、流出解析結果より 1988 年のメグナ河の流出量 (氾濫域への流入量) が 1987 年をはるかに越えるものであったことが、北東部の洪水氾濫を激化させたことが明らかになった。

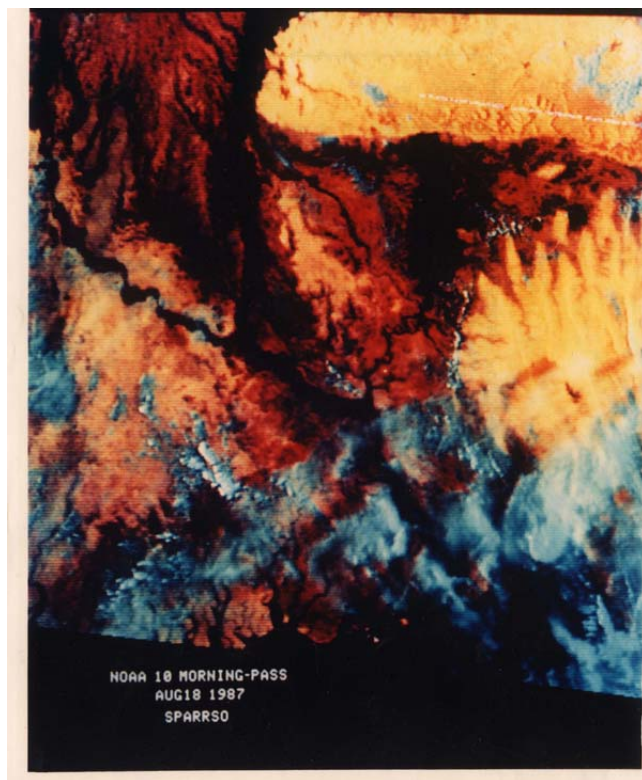


Photo 4 Satellite image by NOAA (Aug. 19, 1987)



Photo 5 Satellite image by NOAA (Sept. 24, 1988)

5. バングラデシュにおける洪水の特質

(1) 洪水氾濫発生要因

バングラデシュの洪水氾濫の発生要因は次の 4 種類に大別される。

三大河川の洪水氾濫: 三大河川の上流域で豪雨が発生するとそれらがバングラデシュに集中して洪水氾濫

を引き起こす。現地では、ガンジス河とブラマプトラ河の洪水量のピークが同期すると災害は大きくなるといわれている。

2) 山岳部よりの急激な出水: 北部と東部は、山岳部 (インド領) に接している。4 月から 5 月にかけてこれらの山岳部より急激な出水があり、収穫前のボロ米が大きな被害を蒙るのが特徴である。

3)内水氾濫:5月から9月の雨季に国内で豪雨が頻発するが、この時期には3大河川の水位が高いため、排除不能となった内水が低平地に氾濫する。

4)異常潮位に起因する背水氾濫:モンスーン季にベンガル湾で発生する異常潮位はメグナ河の下流部の水位を上昇させ、その背水で洪水氾濫が発生するといわれている。これはサイクロンによる高潮氾濫とは区別されている。

バングラデシュでは洪水氾濫災害とともに河道変動・河岸侵食による被害が甚大である。このため河川構造物(道路橋・鉄橋・フェリー乗り場・堤防など)は不安定な状態にある。これらの設計に際しては、流路は常に変動していると考えておく必要がある。

また河岸侵食によって1984年~1993年には、年平均87km²の土地が流亡し、50km²が影響を受けた。農地を失った農民は都市に出てスラムに住み人力車夫・レンガ割りなどをして日銭を稼がねばならぬ。人身売買などの悲惨な話も耳にする。

南部沿岸部では河川勾配が緩やかであるため低水期に海水が遡上し塩害をもたらしている。洪水とは直接関係ないが厄介な問題である。

(2) 洪水と住民との係わり

バングラデシュでは毎年洪水氾濫が発生しているが、それらの洪水は現地ではバンヤ(Banya 大洪水)とバルシャ(Barsha 通常の洪水)とに区別されている。これからも人々の洪水の受けとめ方がわが国とは異なることがわかる(Ahmed, I., 1999)。

さらに、バングラデシュにおいても職業など住民の立場の違いによってそれは大きく異なる。住民と洪水との関係を簡単にまとめると次のようになる(Haggart, K., 1994)。

農民:農民にとっては住居、畑作物、アマン(Aman, コメの種類で、モンスーン季に種をまき、モンスーン季後に収穫する)などに被害を受けない限り、氾濫水位や洪水期間及び時期に関係なく、どのような洪水であっても許される。特に、氾濫水は乾季の農作に必要な水資源となり貴重なものである。

漁師:バングラデシュでは漁業のうち約75%が内水漁業であり、この漁獲量の大部分が氾濫原で得られている。内水漁業を営む者にとって氾濫湖は生活の糧である。漁師にとっても家屋を損壊・浸水させる洪水は好ましいものではないが、大洪水後の氾濫湖では例年より漁獲量が増加する傾向があり、漁が可能な状態であれば大洪水も恵みとなる。

船頭:主に氾濫湖を利用して物資を輸送する船頭は、洪水氾濫がなければ収入が減少する。近年は地方にも道路が整備され、その需要は減少している。それでもな

お、水運はコストが安いいため、国内輸送の55~60%を占める。また、大洪水で道路の浸水や橋の決壊がおこると、水運は物資を輸送する主要な手段となる。

都会の人々:都会で近代的な生活を営む人は、1988年の大洪水を経験するまで洪水が災害だという認識がなかった。1988年の洪水で首都ダッカが浸水したため都市生活は混乱した。これが首都ダッカを囲む堤防建設計画の推進力となっている。

(3) 洪水の利害得失

以上の事項を考慮して洪水の利害得失をまとめると次のようになる。

洪水がもたらす正の効果としては次の7点が考えられる(Chowdhury, J.U. et al., 1996)。

水資源の確保、地下水涵養、乾季の土壌水分補給、氾濫原の土砂堆積による土地の造成、漁獲量の増加、舟運・環境浄化・建設資材(砂礫)の供給。

洪水の負の効果としては次の6点に集約できる。

人命の損傷、公共施設・私有財産の損壊、表層土の流亡、土砂の堆積に伴う通水断面の減少、河岸侵食、氾濫水による環境の悪化(伝染病の発生)。

1950年代の前半までは、住民は洪水と旨く付き合っており、洪水を生活環境の一部として自然に受け入れてきた。農村部に調査に出かけると現在でもその様子がよく理解できる。

6. 洪水対策の略史

バングラデシュでの本格的な洪水対策は1954・55年の大洪水後パキスタン政府とインド政府が共同で調査をした時から始まるといわれている。その時、調査団は、3大河川に堤防を建設することなどの幾つかの提言を行った。その後、1964年に洪水防御と水資源開発に関する総合的な長期マスタープランが作成された。このプランでは主要河川及びその支川に総延長3,200kmの築堤を行って、約3.24・10⁶haの土地を洪水から守ることを目的とした。このマスタープランに基づきブラマプトラとティスタ(Teesta)川の右岸堤が完成した。その後(1966)、世界銀行のミッションによって1964年のマスタープランに問題が多いことが指摘され、実施速度はスローダウンした。

バングラデシュの独立後、世界銀行は人口増加と財政難を考慮して、食料(米)の自給を達成するための速効性のある開発に力点を移した。その後、1973-78に第一次5ヵ年計画、1978-79の2ヵ年計画、1980-85の第二次5ヵ年計画が策定されたが、経済情勢等の悪化により計画は変更され投資規模は縮小した。これらと平行して1983年より新しい国家水計画(National Water Plan)

の策定作業に取りかかり、1987 年に水資源開発と保全に関する総合計画が一応完成した。この計画では、食料の自給を第 1 目的とし、洪水防御地域を 32%から 73%に改善することが提案された。その総合計画策定の最中の 1987・88 年に大洪水が発生した。

1988 年の大洪水の直後、UNDP と世界銀行が中心となって 26 項目よりなる洪水対策 (Action Plan for Flood Control 後に Flood Action Plan (FAP) と呼ばれる) がまとめられた。わが国からも多くの貴重な提案がなされた (中尾, 1996)。FAP には洪水予警報システムの整備などのソフト的な対策も含まれているが、築堤などのハード的な洪水対策が主なものになっている。しかし、世界の主要国の専門家が各種資料を調査分析してまとめた FAP さえもバングラデシュは一部を除いて受け入れようとしていない。

関係者はその理由を次のように説明している (Hughes, R. et al., 1994)。

- (1) FAP は氾濫原の環境と自然資源を破壊する可能性がある。
- (2) 堤防は他地域の洪水の危険性を高める。
- (3) 社会資本が平等に配分されない。
- (4) リスクを負う住民の意見が計画段階で反映されていない。

これらの理由のほかに、個人的に次のように考えている。

- (1) バングラデシュの宗教はイスラム教であり、古くから伝統的な慣習がある。西洋風の近代的な洪水対策はその伝統に抵触する可能性がある。
- (2) 住民生活は我が国と比較にならぬほど水と密着している。洪水対策によって河川 (洪水) と生活が切り離されることは、当事者でしか理解できない苦痛があるであろう。
- (3) 内陸漁業が盛んであり、洪水氾濫を待望している農民も少なくない。
- (4) 内水面交通 (舟運) が盛んである。それに障害となるような構造物の設置は受け入れられない。

7. 洪水流出と氾濫モデル

7.1 国外よりの流入量の推定

バングラデシュ国では上流国側の水文状況をほとんど知ることができないため、洪水対策の基本事項である国境より流入する洪水流量の推定は不可能に近い。こういった難点を補うために既存資料を用いてどの程度まで洪水流量を推定できるか挑戦した。

はじめに、バングラデシュの北西部に流入する中規模河川であるティスタ (Teesta) 河について流出解析を行って、バングラデシュに適する基本モデル

を検討した。次に、バングラデシュ北東部の洪水氾濫を分析するために不可欠なバラク (Barak) 河の流量を推定することを試みた。それらの結果を参考にして巨大河川であるガンジス (Ganges) 河の流出解析を行った。

(1) Teesta 河の流出解析

バングラデシュでは、水資源開発局 (BWDB) が中心になって水文観測を実施しているが、比較的データが揃っているティスタ (Teesta) 河の流量資料を用いて流出解析を行い、中規模河川の流出解析モデルについて検討を加えた。

ティスタ (Teesta) 河はインドとネパールの東側国境に源を有し、バングラデシュの北西部に流入する流域面積 12,106km²・主河道長 375km の国際河川である。この河川の上流部には標高が世界第 3 位のカンチェンジュンガ (Kangchenjunga(8,586m)) があり、標高が 5,000m 以上の面積は 1,723km²である (Fig. 7)。標高 5,000m 以上では降水はほとんど全てが固形物 (雪) であるといわれているので、この領域は直接流出成分の解析対象外とした。

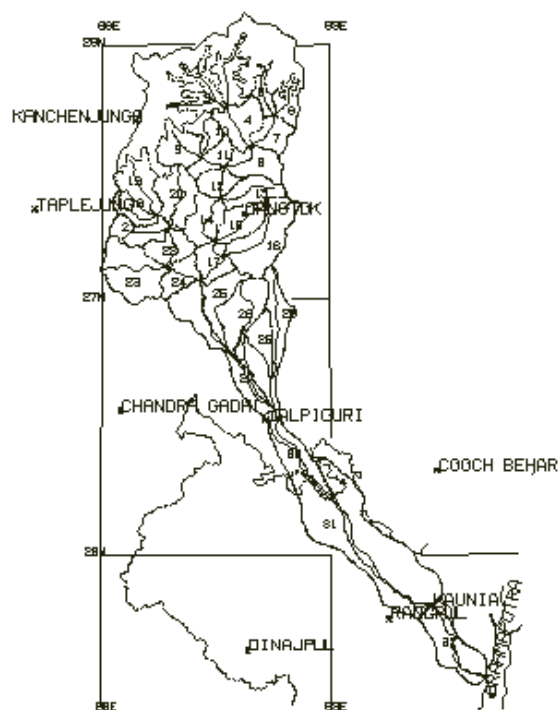


Fig. 7 Schematic illustration of the Teesta River basin

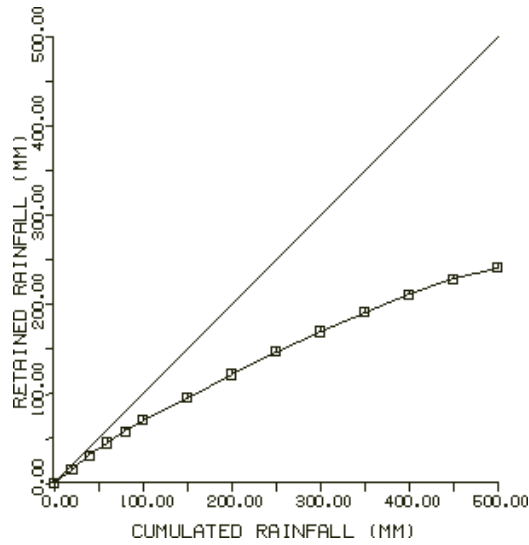


Fig.8 Cumulated rainfall and retained rainfall curve for the Teesta River basin

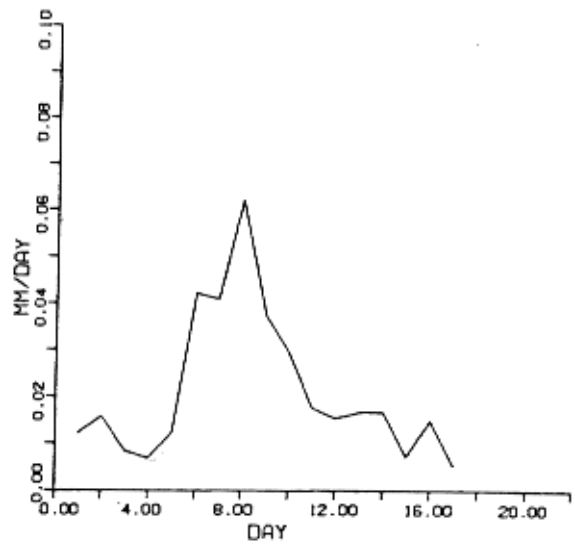


Fig.9 Unit hydrograph for calculation of base flow

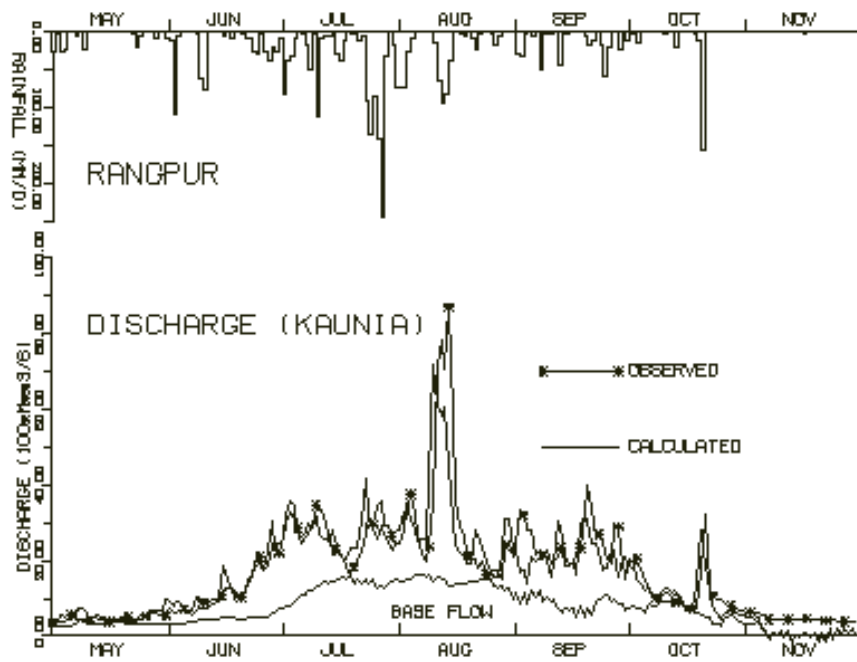


Fig.10 Flow simulation results of the Teesta River

幾つかの流出モデルについて検討を行った結果、直接流出と基底流出の分離には保留量曲線、基底流出の解析には unit hydrograph 法、直接流出の解析に kinematic runoff model を用いるのが最適かつ簡便であることが明らかになった(Oka, 1997)。

Fig. 8 は 1987-1988 年のカウニア (Kaunia) 地点の流量資料を用いて得られた保留量曲線である。Fig. 9 は、基底流出解析のための unit hydrograph である。

これは保留量曲線を作成する際に得られる基底流出ハイドログラフと流域平均雨量を用いてマトリックス法により求めた(Viessman, W., et al., 1977)。直接流出解析のための流域分割・地形量の測定については、1/50 万の Tactical Pilotage Chart (TPC) の 1 次河道について流域分割を行ったのち、簡易谷線法を用いて斜面勾配を測定した。なお、等価粗度については試算により決定したが最終的に $N=1.0$ 、河道の粗度係

数は $n=0.035\text{m}^{-1/3}/\text{s}$ とした。Fig.10 はこのようにして求めた計算結果である。計算結果は観測結果とかなり良く一致しており、ここで用いた流出モデルの妥当性が認められる。

(2) メグナ河上流部（Barak 河）の流出解析

Fig. 11 にメグナ河上流部（バラク河）の概要を示してある。メグナ河はアマルシッド（Amalshid）でバングラデシュに流入している。ここでは、その地点より上流について流出解析を試みた。なお、対象流域の面積は 2.6万 km^2 、主河道長は 400km である。

流出解析法は Teesta 河で用いたものと同じであるが、TPC 上の 1 次河道について流域分割を行ったところ、317 個となった。各サブ流域について地形量を測定することは容易ではないので、ここでは 2 次河道を用いて流域分割を行い、単純化して解析を行うことにした。このようにして流域分割を行った結果、48 個のサブ流域に分割された。

各サブ流域には、複数の 1 次河道が含まれているため 2 次河道で分割された単位流域の斜面勾配を測定することは不可能に近い。ここでは、サブ流域を、2 次河道を用いて左・右の流域に分けた後、以下の方法で斜面勾配を求めることを提案した。まず、左右の流域をそれぞれ一つの斜面とみなす。次にそれぞれの斜面勾配を、地形図より比較的容易に得られる左・右斜面の最高標高と最下流部標高の差を雨水流路長で除して求める。ここでは、このようにして作成したモデルを単純化モデルと呼んでいる。

単純化モデルの N についてはティスタ(Teesta)河で検討したモデル（基本モデル）と単純化モデルの

流出解析結果を比較して最適値を探索した。その結果、単純化モデルでは $N=0.25$ が適当であるということが明らかになった。

バラク川流域は、広大であるため降雨分布は一様ではない。また、分布型流出モデルを採用する意味合いからも雨量分布を考慮することが望まれる。ここでは、雨量資料の精度に若干の難点はあるが、格子補間法を用いて各サブ流域の平均雨量を求め流出解析に雨量分布を反映させた。

Fig. 12 は上述のモデル定数を適用して 1987 年の洪水について得たアマルシッド（Amalshid）地点の流量である。1987 年 9 月 7 日には $10,325\text{m}^3/\text{s}$ のピーク流量を記録し、1987 年の洪水は Silchar と Sylhet を結ぶ領域の豪雨によってもたらされたことが明らかになった。Fig. 13 は、1988 年の流出解析結果である。1988 年 6 月 27 に $30,301\text{m}^3/\text{s}$ のピーク流量を記録したことが分かる。また、1988 年には Kohima - Silchar - Sylhet - Cherrapunji を結ぶ領域の豪雨によってもたらされた。

これらの解析結果により 1988 年の洪水は 1987 年洪水の約 3 倍の規模であったことが明らかになった (Oka et al., 2004)。さらに、この結果は、1988 年の東北部の大洪水氾濫は、バラク河流域・メガラヤ・トリプラ山岳域からの流入量が際立って多かったためであり、ガンジス・ブラマプトラ河の水位上昇とそれらのピークの同期をその原因にすることには疑問を呈している。

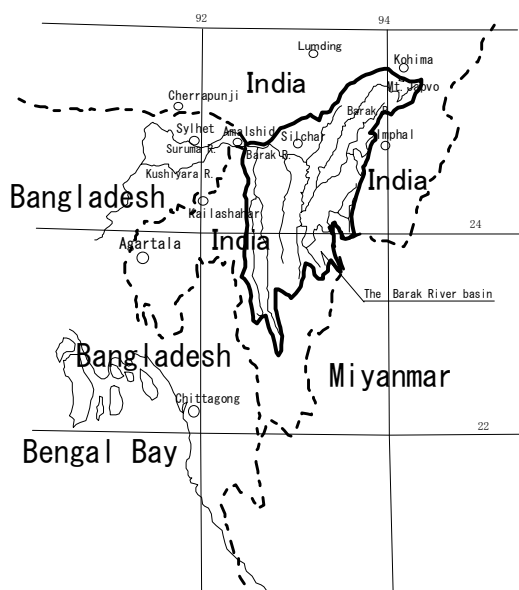


Fig. 11 Schematic illustration of the upstream of the Meghna River (the Barak River)

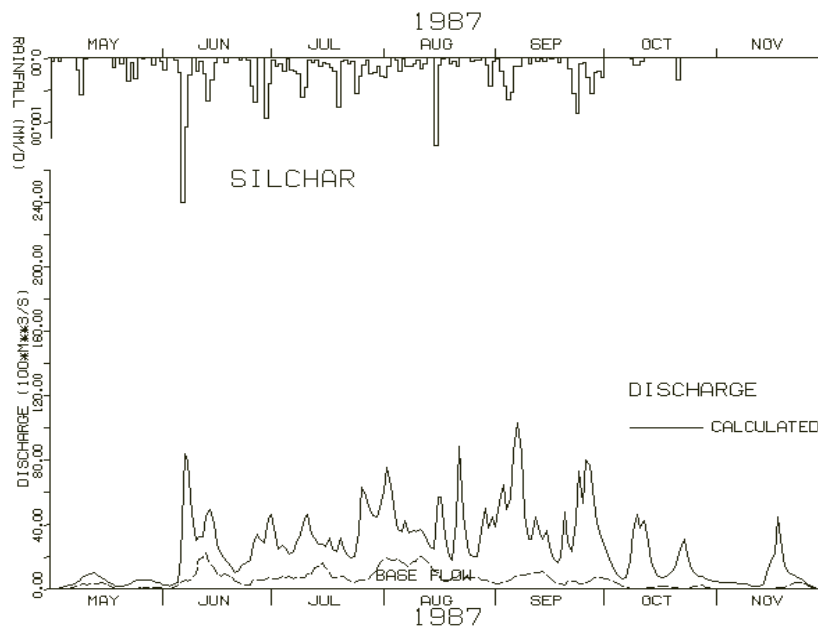


Fig. 12 Calculated hydrographs of 1987 Flood

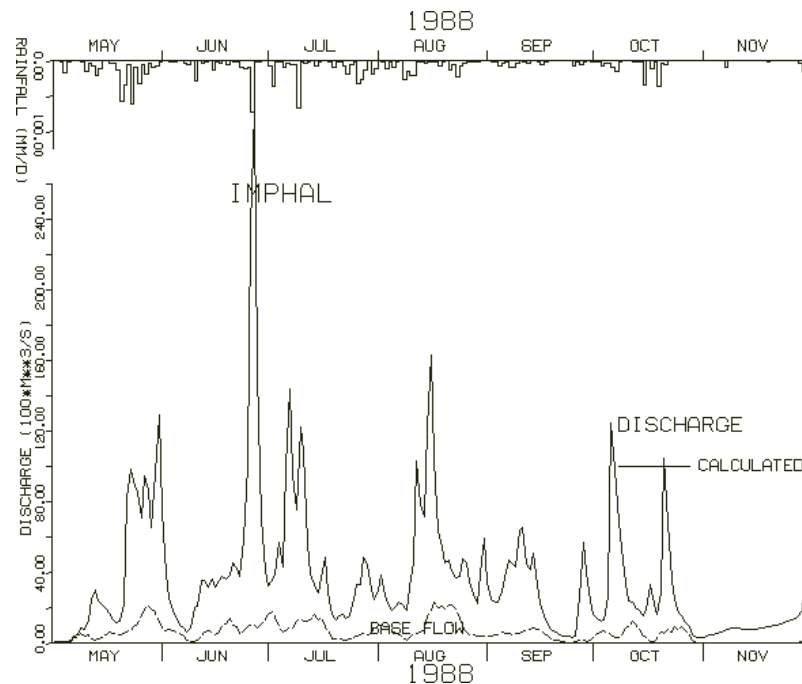


Fig. 13 Calculated hydrographs of 1988 Flood

(3) ガンジス河の流出解析

Fig. 14 は 1987 年モンスーン季におけるガンジス河流域の雨量分布である。インド西部は雨量が少なく渇水が問題となっていたが、ネパール中部及びガンジス河の中下流部は豪雨に見舞われバングラデシュでは大洪水災害が発生した。Fig. 15 はバラク河と

同じモデルを用いて行った流出解析結果である。ただし、この解析では、標高が 200m 以下の河道については St-Venant 式を用いて雨水追跡を行っている。7・8 月については改良の余地は少なくないが、9 月のピーク付近についてはかなり良い結果が得られている (Oka, 1997)。

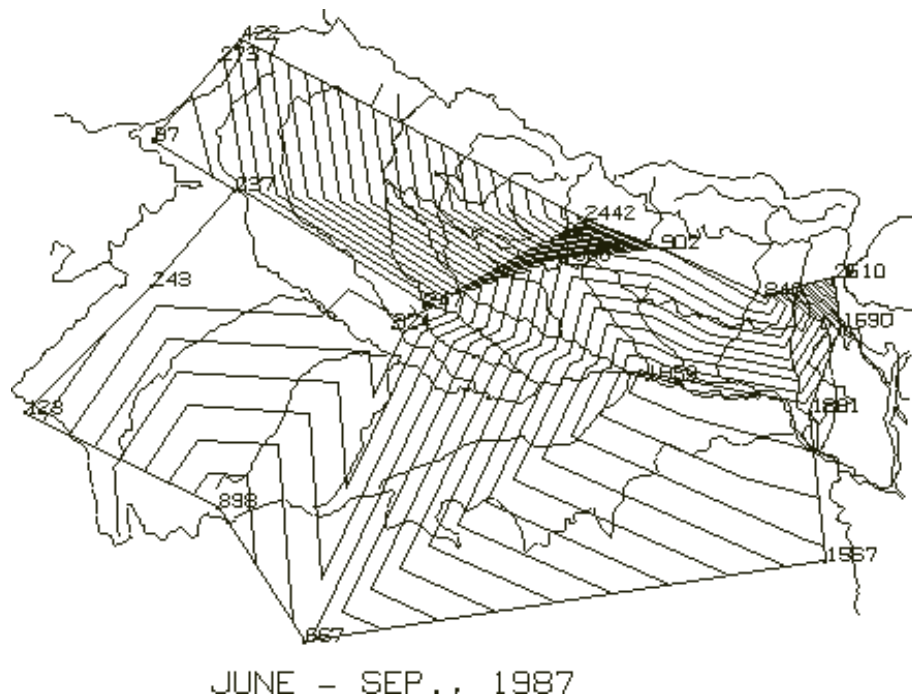


Fig. 14 Rainfall distribution of 1987 monsoon season (The interval of isohyetal line is 100mm.)

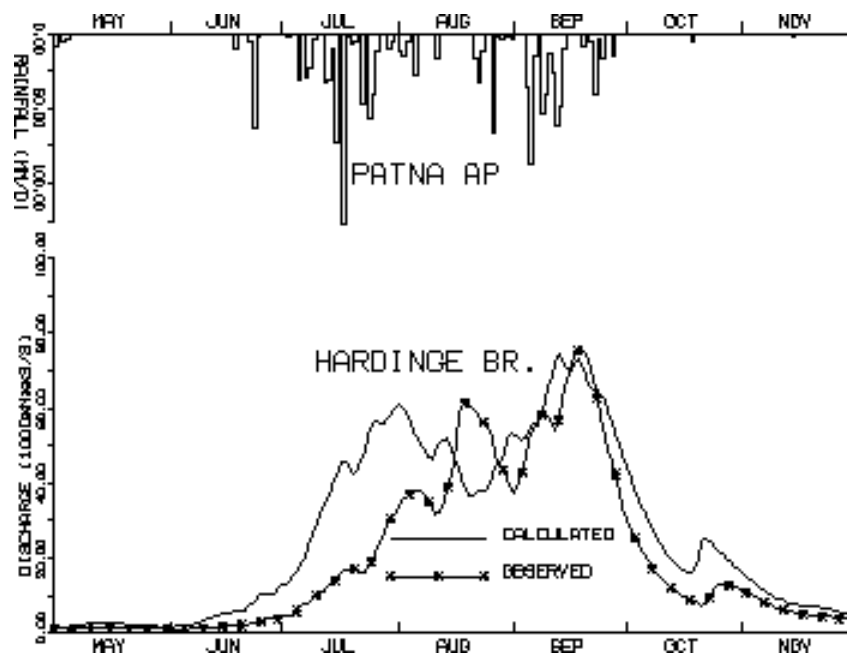


Fig. 15 Calculated and observed discharge hydrographs (Hardinge R.B.)

これまでティスタ (Teesta) 河, バラク (Barak) 河およびガンジス (Ganges) 河流域の流出解析結果を示してきた。これらの結果より, 中規模河川・大規模河川を対象とした流出モデルに関する基礎的検

討を行うことができたといえる。さらに, 改良の余地は少なくないが, 水文資料を整備することによって, 国外よりの流入量を推定する可能性を示すことができたものと考えている。

7.2 洪水氾濫の数値シミュレーション

バングラデシュには無数の湖沼が存在する。これらは、ビール（Beel）と呼ばれる恒久的な湖と雨季に周辺部からの雨水を貯留して広大な湖と化するハオール（Haor）と呼ばれる氾濫湖に大別される。特に、標高 10m 以下のシレット窪地（Sylhet Depression）では、雨季にハオールの水位が上昇して、互いにつながり、降雨の多い年には衛星画像でも確認できるような大氾濫域を形成する。しかし、そのような洪水氾濫が発生しても、地元住民は道路・自然堤防などの少し高い部分に避難して、水位がさがるのがを待つ。これまでは地元住民はハオールの水位上昇によって家屋を迫われることがあっても洪水氾濫を災害として憎むことはしなかったようである。

しかし、同国の発展のためには土地（農地）の生産性を高めるとともに、洪水氾濫域の縮小および乾季の水資源の確保を真剣に考えていかなければならない。ここでは、氾濫湖の消長と人間生活との関連性を調査するとともに将来洪水・水資源対策に必要なと考えられる洪水氾濫の数値モデルについて検討する。

バングラデシュの洪水氾濫解析は、UNDP などで行われているが (UNDP et al., 1988), 同国では地形図が未完成であるうえに、国外よりの流入量が未知

であることなどが障害になってハオールの消長などのきめ細かい議論は行われていない。そこで本研究では、シレット周辺部を研究対象領域とて、現地調査を行うとともに、雨水流出解析(Oka et al., 2000)と洪水氾濫解析を行い氾濫湖の消長について解明を試みた。

はじめに、Fig.16 に示してあるメガラヤ山脈とスルマ河に挟まれた低平地域について 1 次元不定流-貯留モデル (Oka et al., 1997a) および有限要素モデルを用いてシミュレーション(Oka et al., 1997b)を行った。さらに 2001 年 6 月の豪雨に伴うモノ (Monu) 河の堤防決壊について現地調査を行い、トリプラ高地よりの鉄砲水 (Flush Flood) について洪水流量を推定するとともに 2 次元差分モデルを用いて氾濫過程を明らかにした (Oka et al., 2003)。これらの解析結果は基礎資料が未整備な条件の下で行われており残された問題点は少なくないが、これまで、まったく検討されてこなかった鉄砲水の氾濫過程をかなり詳しく明らかにするとともに、今後の問題点を提示したものになっている。

これらの検討結果についてはそれぞれのレポートを参照して頂くとして、ここではバングラデシュで最大といわれているハカルキハオールについて調査・解析した結果の一部を紹介する。

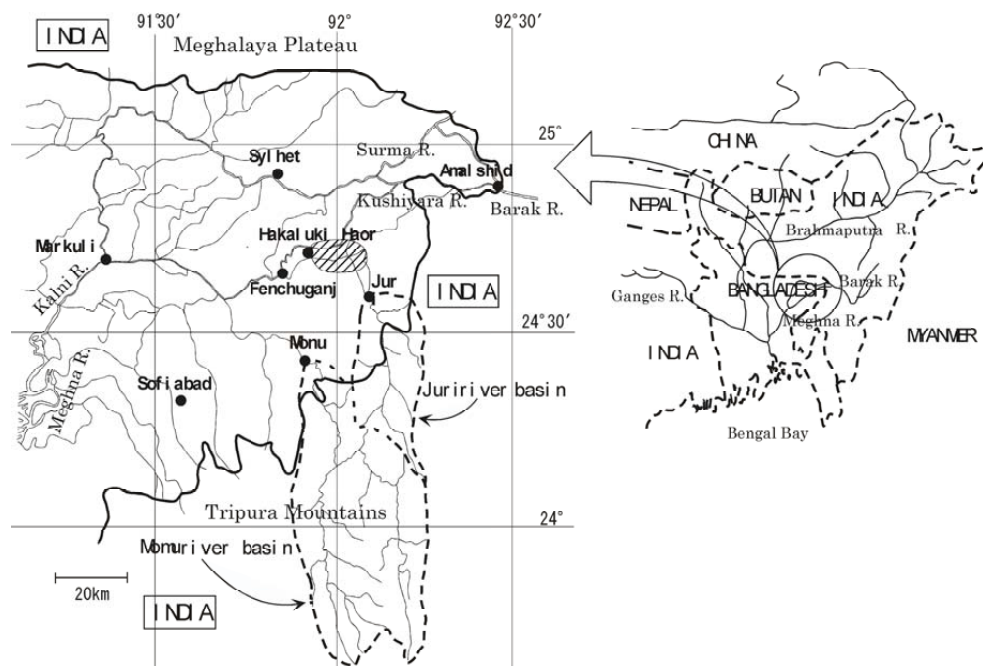


Fig.16 Location of Hakaluki Haor

(1) ハカルキハオールの概要

ハカルキハオールは、乾季には 6~7 個のビール（Beel）を除いて干陸するので、水田や牧草地として利用されているが（Photo 6）、雨季には巨大な湖（ハオール）と化し（Photo 7）、その面積は 700km²に達する。ハオールの周辺には多くの人が住んでおり、多くの恵みを得ている。我々は、機会あるごとに舟をチャーターして、水深測量や住民生活とハオールとの関係を調査してきた。しかし、ハオールは何時も異なった姿を見せ、全容を捉えることは容易ではなかった。ここでは、はじめにハオールと地元住民生活とのかかわりについてごく簡単に紹介する。

Photo 8 は、ジュリ（Juri）で組まれた竹筏がハオールをくだって行く状況である。この筏は、約 3000 本の竹が束ねられており、約 1 ヶ月をかけてダッカに運ばれる。Photo 9 はハオールの比較的浅いところで漁業を行っている状況である。ここで捕られた魚は市場で売られる（Photo 10）。Photo 11 は自然堤防上の住民生活の状況である。あとわずか水位が上昇すれば災害となるが、この段階では普段の生活が営まれていた。以上のようにハオール周辺の住民は、洪水と旨く付き合い洪水による水位変化に適応した生活を営んでいる。



Photo 6 Hakaluki Haor in dry season



Photo 7 Hakaluki Haor in rainy season



Photo 8 Bamboo raft in Hakaluki Haor



Photo 9 Fisherman in Hakaluki Haor



Photo 10 Market near Fenchganj Ferry Port



Photo 11 Local people living on the embankment of the Juri River

(2) 氾濫湖の消長に関する数値シミュレーション

ハカルキハオールに流入する河川は 8 本あるが、その中でジュリ川がもっとも大きくその源はインド領トリプラ丘陵にある。これらの河川についてこれまでに述べてきた方法で流入量を推定した後、1987 年と 1988 年の洪水について氾濫解析を行った。ここでは河道流を 1 次元不定流、氾濫流を 2 次元不定流とし、差分法を用いて解く方法を採用している (Oka, Iguchi et al., 2002)。

Fig. 17 は解析領域モデルと地盤標高、Fig. 18 および Fig. 20 は 1987 年 6 月 10 日と 1988 年 8 月 22 日について得られた流速・等水位線および水深分布である。1987 年と 1988 年の解析結果を比較して次のこ

とが明らかになる。

1987 年のハカルキハオールの最高水位は 10.64m (8 月 8 日) であったのに対し、1988 年の最高水位はそれより約 40cm 高い 10.99m (8 月 22 日) であった。これは地元住民の証言と一致する。1988 年は 1987 年に比べて約 1 ヶ月早く水位上昇が始まった。1987・88 年ともに、クシヤラ河の水位が上昇を始めてから 6~7 日間逆流が続いたのち、クシヤラ河とハカルキハオールの水位はほぼ等しくなった。この状態が 9 月まで続き、10 月になるとクシヤラ河の水位はさがり、それに伴って 10 月末には 6 月の状態に戻る。

本シミュレーションの結果はハオールの開発や保存計画の基礎資料になるものといえよう。

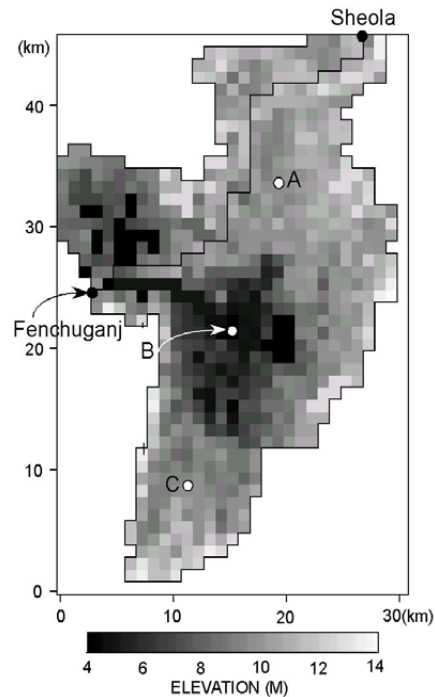
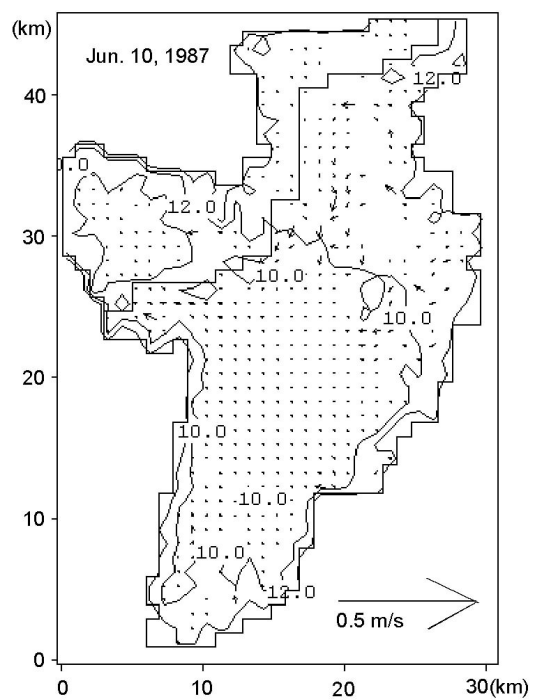
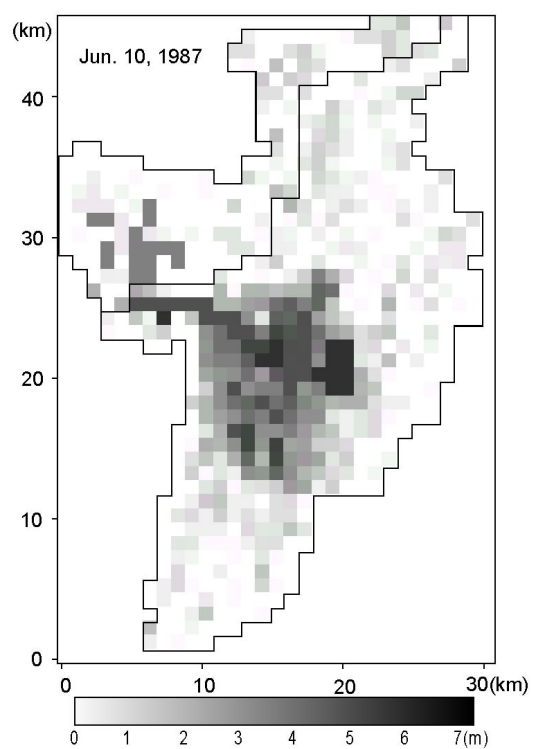


Fig. 17 Elevation and finite difference grid (1km interval) for simulation of the two-dimensional flood flow

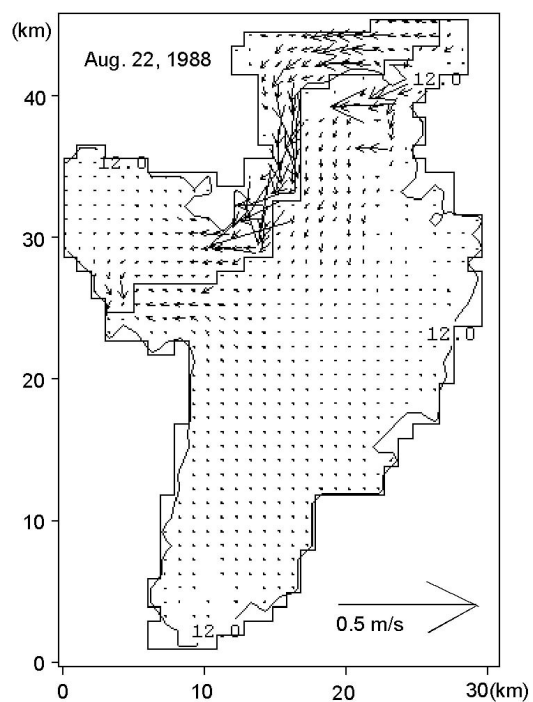


Velocity vectors and water levels

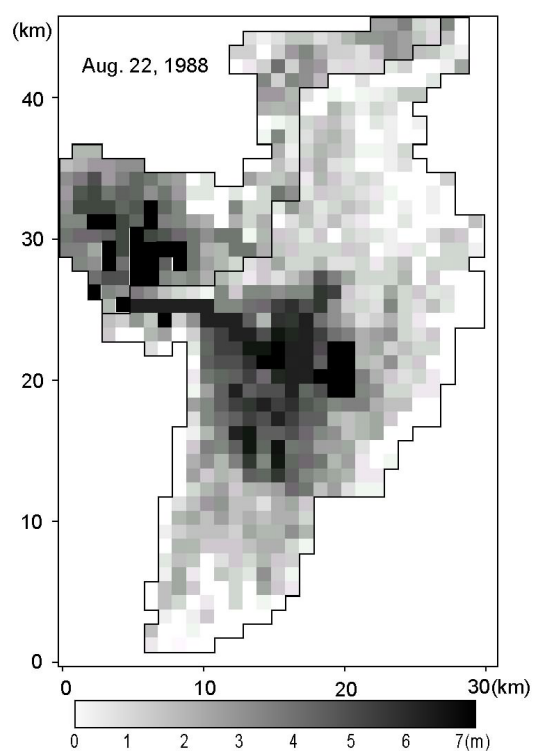


Water depth

Fig. 18 Calculated results of 1987 Flood (June 10, 1987)



Velocity vectors and water levels



Water depth

Fig. 19 Calculated results of 1988 Flood (Aug. 22, 1988)

8. 氾濫湖の開発の可能性

ハカルキハオールは周辺部よりの土砂（主として粘土・シルト）の流入と堆積により徐々に浅くなっているといわれている。今後の堆積状況を予測することは困難であるので無視することにして、これまでの現地調査と氾濫湖の解析結果より、氾濫湖の開発・積極的利用の可能性を考えてみる。

(1) 輪中干拓

シミュレーションの結果より氾濫湖の沿岸部に沿ってかなり浅い部分が広がっていることが明らかになった。また、氾濫湖の内部の流速は出口付近を除いて 10cm/s 以下であり、小規模の構造物を設置しても特に問題はなさそうである。

ハオールは土地分類からは、Lowland と Bottomland に相当するものといえるが、これらの地域では乾季に 1 回の米作が限度である(Fig. 20)。このような土地が干拓により、洪水の影響を受けないようになると、2 期作もしくは 2.5 期作が可能になり、地元住民の生活も改善されるであろう。

そこで、ジュリ川沿いの自然堤防を浚渫などにより盛り上げて堅固にするとともにその堤防の一部を利用して輪中干拓を行い浅い部分を農地化すること

を検討した。そこで、輪中干拓について幾つかのケースを想定してシミュレーションを行った結果、輪中内の雨水排水が問題になることが分かった。すなわち、雨季に輪中の雨水を排水するためには大規模なポンプが必要である上に、たとえ国際的な支援により、堤防や排水機場の建造が行えたとしても、それらの施設の維持管理・運営に膨大な費用が必要になることが明らかになった。

さらに、地元住民は雨季に産卵のために浅瀬に遡上してくる小魚を捕り、現金収入としている。干拓を進める前に漁業収入と農業収入とを比較して、住民の同意を得ておくことが不可欠である。

(2) 大規模な高地造成

ハカルキハオールの深部のみを残し、全面的に埋め立てて農地を造成することについても検討を加えた。この場合には、この地域のほとんど全てを変えてしまうことになるので、地元からの反発が予想される。また、大規模な農地造成を行う場合には地元の利害が対立するためその調整が困難であり、不可能に近いという意見が地元の役人より寄せられた。

また、多くの建設資材が必要になるが、バングラデシュでは石・礫・砂などの建設資材を輸入しなければならず、経費の上からも問題がある。

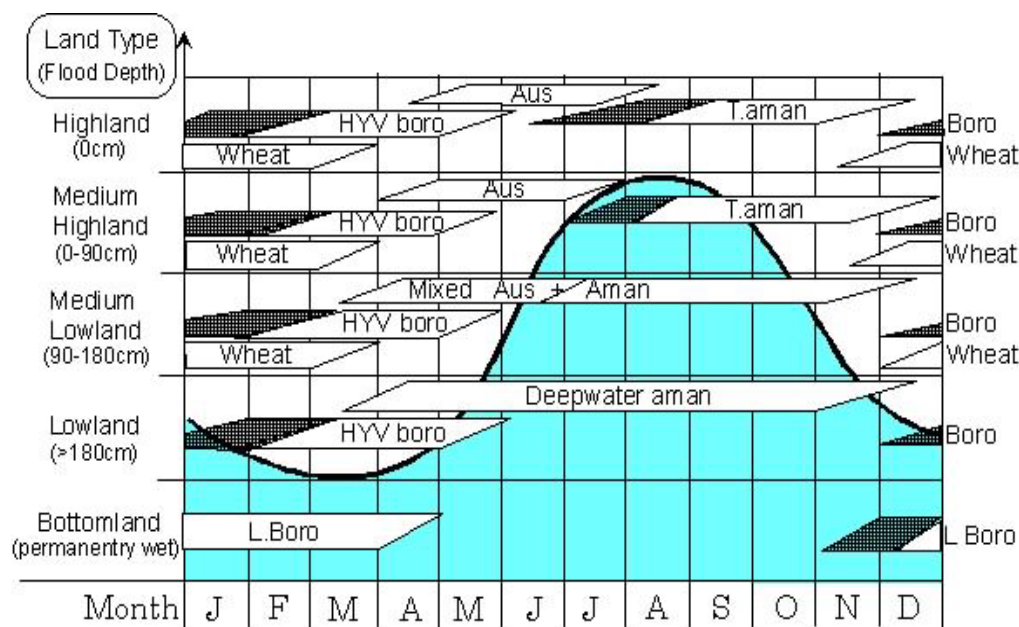


Fig. 20 Rice crop calendar in relation to seasonal flooding (Brammer et al, 1993)

(3) 低平地ダム

バングラデシュの流入河川は国際河川であり、上流部の開発に伴い渇水期の流量は毎年減少していると言われている。このような問題の解決には、国際的協議を必要とするが、バングラデシュ国独自にその対策を考えておく必要がある。

低平地ダムは、クシヤラ河の左岸堤を堅固なものにして、クシヤラ河とハカルキハオールを完全に分離するとともに、ハオールの下流に堰を設け、雨季に貯水し乾季に利用しようとするものである。ハカルキハオールの場合、貯水位によって異なるが、16～22 億 m^3 の貯水が可能になることが明らかになった。

このような大掛かりなプロジェクトについては、農業（畜産を含む）・漁業・交通・運搬はもとより、住民生活への影響が大きいと、地元住民の理解を得ることが不可欠である。地元の研究者は行政区が細かく分かれている上に、それぞれの利害が対立するため、それらを調整して実施に移すことは不可能に近いと話していた。ただし、多くの困難は伴うとしても基礎調査等を行い、その可能性を検討しておくことは将来のためにも必要である。

(4) 世界遺産への登録

バングラデシュ北東部に多く散在するハオールは世界的に珍しいものと言われている。NGOなどが中心になってハオールを世界遺産に登録しようとする運動もあると聞いている。全てのハオールを登録することには問題が多いと思われるが、地元住民の意見に従って、代表的なものについては何らかの形で保存することも必要であろう。

9. おわりに

バングラデシュの洪水災害の概要と国外よりの流入量の推定、さらに北東部の氾濫湖の実態、開発の可能性についての検討結果を報告した。

現地調査は、かなりの回数・入念に行ったが、調査範囲が広いうえ調査毎に色々な異なる意見が寄せられるので、その解釈に迷うところも少なくなかった。今後、更に調査を行って現地の状況を正確に把握する必要がある。また、農業や漁業などについては定量的な把握も必要であると考えている。

これまでの現地調査・政府機関や大学研究者との議論を通して、バングラデシュでは洪水対策には次の事項を考慮する必要があることが痛切に感じられた。

(1) 人口問題：バングラデシュは世界有数の人口密度の高い国である。また、住民は決して豊かであるとはいえない。洪水対策を行って少しでも安全性が高められると、住民は競って移り住む。洪水対策に欠陥があった場合には、大惨事になりかねない。

(2) 教育問題：バングラデシュでは義務教育制度はできているが、学校教育を受けていない子供を多く見かける。したがって、識字率も必ずしも高いとはいえない。標識などで洪水対策の意味を伝えても正しくは理解されない。我々は北東部で水文観測を行ってきた（Oka, Okubo et al., 1997）が、データローガーが頻繁に盗難に遭った。掲示など行っても防止には役立たない。

(3) 住民参加を伴う洪水対策の計画と実施：住民に十分理解されないまま洪水対策を実施すると、多額の費用を費やして造った堤防でさえも、自分の不利に作用したときには堤防を切る行動に出る。これをパブリックカットという。1993年7月26日にパブリックカットが行われ、それを防止しようとした機動隊が発砲し5名の死亡者と約50名の負傷者を出した(The Daily Star, 1993)。住民が事業に参加しておればこのような事態は防止できるであろう。また、一度開始した対策事業を中止することは避けねばならない。行政不信を招くだけである。

(4) 水資源対策：洪水対策と同時に水資源対策を推進する必要性が高まっている。将来、上流国の経済発展に伴い水資源開発を進めるならば、バングラデシュは単に洪水の通り道でしかなくなる。特に、水が必要な乾季に一滴の水も流入しなくなる可能性もないとはいえない。そのような場合を想定して対策を考えておく必要がある。このためにシットルの低地部を浚渫して大規模な貯水池を造成するとともに、浚渫土を用いて高地を造成する国家プロジェクトを提案したい。

(5) 基礎研究の必要性：わが国は世界第1位の援助国である。しかし、バングラデシュの国情を十分理解しないまま援助を行っている面も見受けられる。このような事態を避けるためには、わが国の専門家が長期間滞在して、バングラデシュの事情を良く理解する必要がある。研究センターのような施設を造り、複数の専門家がそれぞれの分野について見識を高めておけば、わが国からの援助計画の策定に適切なアドバイスが可能になる。援助効率も高められるものと考えられる。

最後に、本研究では、外国の現象を扱っており、現地調査・水文観測・データ収集には多くの困難を伴った。また、研究が進展するにつれ各方面より多くの異なる意見・批判が寄せられ、どれがバングラデシュに適する洪水対策なのか混乱させられる場合も少なくなかった。迷路に迷い込んだ状態で本研究をひとまず終了することになったが、本研究を通じてバングラデシュ国のみならず南・東南アジア諸国の多くの研究者と知り合うことができた。今後、彼らと連絡を密にし、わが国と事情の異なる洪水問題に取り組んで行きたいと考えている。

本調査研究を実施するに際して、バングラデシュ工科大学 Ahmed教授をはじめ多くの研究者より心温まる協力と有益な助言及びBWDBより貴重な資料の提供を頂いた。衷心より感謝の意を表する次第である。

謝 辞

私は、昭和43年4月より平成16年3月までの36年間にわたりきわめてよい環境の下で研究に従事させていただきました。その間の主な研究テーマは非ダルシー領域の浸透流、不飽和浸透流、地下水、都市化に伴う流出機構の変化、洪水・内水氾濫に関する数値モデル、都市の水環境、地下ダムの設計・運用、植物の成長と水文素過程及びバングラデシュ国の洪水問題でした。どの課題につきましても研究途上であり、十分な成果が得られるまでには至っておりません。今後、さらに研鑽を積み、どれか一課題についてでも私なりに納得のいく域に近づけたいと考えております。

最後になりましたが、学生時代よりご指導・ご鞭撻・ご支援いただきました先生方、諸先輩をはじめ多くの方々にこの場をお借りして、心よりお礼申し上げます。

参考文献

外務省ホームページ(2004) : <http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/bangladesh/data.html>
中尾忠彦 (1996): バングラデシュの治水計画に関する研究, 東京大学学位論文。
Brammer, H. (1966): The geography of the soils of Bangladesh, University Press Ltd., Dhaka.
Brammer, H. Asaduzzaman, M. and Sultana, P. (1993): Effects on climate and sea-level changes on the natural resources of Bangladesh, Briefing document

No.3, Bangladesh Unnayan Parishad, Dhaka.
Chowdhury J.U., Rahman, M.R. and Salehin, M. (1996): Flood control in a floodplain country, Experiences of Bangladesh, IFCDR, BUET.
Harza Engineering Co. Int. (1986): Geology of Bangladesh, Master Plan Organization, Dhaka.
Hughes, R., Adnan, S. and Dalal-Clayton, B. (1994): Floodplans or Flood Plans?, A Review of Approaches to Water Management in Bangladesh, IIED, UK.
ISPAN (1993): Charland Study Overview: Summary Report, FAP16 & 19, FPCO, Dhaka.
Islam, M.A. and Miah, M.M. (1981): Bangladesh in maps, University of Dhaka, p12.
Ahmed, I. (1999): Living with flood, The University Press Limited, pp.22-23
Haggart, K. (1994): River of life, Bangladesh Centre for Advanced Studies, pp.20-21.
Oka, T. (1997): Rainfall runoff analysis of Teesta and Ganges Rivers, Final report of Japan Bangladesh joint study project on flood -Investigation of the mechanism of flash floods-, Dhaka, pp.127-135.
Oka, T., Ahmed S.M.U. and Bala S.K. (2003): Numerical analysis of flash flood in the Monu River basin caused by heavy rainfall on June 6, 2001, Proceedings of the second annual paper meet and international conference on civil engineering, pp.173-182.
Oka, T., Ahmed S.M.U., Bala S.K. and Iguchi M. (2003b): Flash flood and inundation process in the Monu River basin caused by heavy rainfall on June 6, 2001, Proc. of the 1st International Conference on Hydrology and Water Resources in Asia Pacific Region, pp.839-844.
Oka, T., Iguchi, M., Ahmed S.M.U. and Bala S.K. (2002): Numerical simulation of flood lake behavior in northeastern Bangladesh, Advances in hydraulics and water engineering, Proc. 13th IAHR-APD Congress, pp.528-533.
Oka, T., Okubo, Yamakawa, K. and Mori, K. (1997): Establishment of pilot system for acquisition of hydrologic data, Final report of Japan Bangladesh joint study project on flood -Investigation of the mechanism of flash floods-, Dhaka, pp.12-52.
Oka, T. and Salehin M. (1997a): Numerical simulation of Inundation in the north-east lowland in Silet District, Investigation of the mechanism of flash floods, Final Report of Japan Bangladesh Joint Study

- Project on Floods, pp.136-143.
- Oka, T., and Salehin, M. (1997b): Numerical simulation of flood in northeast region of Bangladesh, Proceeding of international symposium of natural disaster prediction and mitigation, Kyoto, pp.267-272
- Oka, T., and Suzuki H. (2004): Estimation of the rainfall runoff from upstream region of the Meghna, Hydrological and morphological study of the Meghna River, Vol.1, pp.135-149.
- Rahman B. (Chairman of Editorial Committee) (2002): Statistical Yearbook of Bangladesh -2000-, Planning Division, Ministry of Planning Government of the People's Republic of Bangladesh.
- The Daily Star (1993): Cutting the town protection embankment in the Netrakona, June 29, Dhaka.
- UNDP and World Bank (1988): Surface Water Simulation Modelling Programme, Final Report of Project BGD/85/045.
- Viessman, W., Knapp, J.W. Lewis, G.L. and Harbaugh, T.E., (1977): Introduction of Hydrology, Harper & Row, Publishers, pp.131-134.

Floods in Bangladesh

Taro OKA

Synopsis

Every year, many areas of Bangladesh are inundated by flood. Its impact on society and economic activities are becoming overbearing for the people of Bangladesh. In order to mitigate the flood disaster, basic research on the mechanisms of flood is indispensable. The rainfall runoff characteristics of the Meghna River and the hydrological behavior of flood lake (Haor) were clarified by using the existing hydrological data effectively. The behavior of Hakaluki Haor (the largest Haor in Bangladesh) and the possibility of developing this area were discussed considering the lifestyle of the local people.

Keywords: Bangladesh, Flood disaster, Water resources, Inundation, Flood lake (Haor),