

バングラデシュにおける1987年および1988年の洪水災害

村 本 嘉 雄

1. 緒 言

バングラデシュは、洪水あるいは高潮災害が頻発する国として世界的に知られている。したがって、1987年の7月から10月にかけて、浸水面積約40%・推定死者数1,400人余・罹災者2,500万人にのぼる洪水災害が発生し、北西部では65年振りの大水害にみまわれたが、国外での報道は一時的で目立たず、国際的援助も緊急救援が中心であった。しかし、1988年の8月下旬から9月初旬に、国土の84%が冠水し、被災者が4,500万人余（全人口の約1/2）にのぼる今世紀最大の洪水災害が発生するに及んで、水害の状況と大洪水の原因に関して世界的に大幅な報道がなされ、わが国でも新聞・テレビ等で多くの特集が組まれた。また、抜本的な洪水対策に向けての調査と立案が、バングラデシュ政府はもとより、UNDP（国連開発計画）などの国際機関や米・仏・中国・日本等の政府関係機関によって進められている。

筆者らは1987年の洪水災害を調査研究するために、文部省科研費・特定研究（重点領域研究「自然災害」・突発災害調査費）の補助を受けて、1987年12月4日から22日にかけてバングラデシュとインドに出向き、現地調査と資料収集を行った。調査のメンバーと研究課題は下記のようなものである。

京都大学防災研究所 村本嘉雄（河川工学）：河道の変動と治水・利水施設の被害及び総括
早稲田大学教育学部 大矢雅彦（地形学）：地形条件と水害形態
京都大学防災研究所 岡 太郎（水文学）：出水特性と氾濫過程
徳島大学総合科学部 小田利勝（社会学）：水防体制と救援・復旧活動
東京大学理学部 松本 淳（気象学）：夏季モンスーンの気候変動と豪雨の発生要因

本文では、これらの調査研究の成果¹⁾について、著者の分担した課題を中心にその概要を述べる。また、1988年の洪水災害についても、若干の資料と現地調査（1989年4月6日～12日）に基づく検討を行ったので、降水量分布、大河川の出水・氾濫特性、河道の変動および被災状況に関して2年次を比較した結果を示す。

2. バングラデシュの概要

2.1 自然・社会的背景

バングラデシュ人民共和国は、Fig. 1に示すようにガンジス、ブラマプトラ（ジャムナ）およびメグナの三大河川の最下流部に位置している。各河川の諸元を Table 1 に示す。これらの河川流域はインド、ネパール、ブータンおよび中国（チベット）の4ヶ国にまたがっており、バングラデシュの国土面積は14.3万km²（全流域面積の約9%）である。国土の標高は、北西部国境の海拔90mが最高であって、デルタ地帯が約6万km²を占めており、国土のほぼ半分が平均海面上8m以下の低平地からなっている。

三大河川の他に約250の河川が網目のよう全土を覆っていて、水面積の比率は国土の約6%に及ぶ。さらに、大規模な低湿地や河道痕跡地が国内各地に分布しており、雨期には湖沼を形成するが、その面積は全土の10%に近い。したがって、夏のモンスーン季には平水年でも国土の18%が1～3mの深さで浸水し、多雨年には国土の1/4以上に及ぶ浸水災害が発生する。このような水害を1954年以降に13回も受けている。

浸水の主な原因は、国内の降雨による湛水と三大河川を中心とした国外からの流入河川の増水であって、

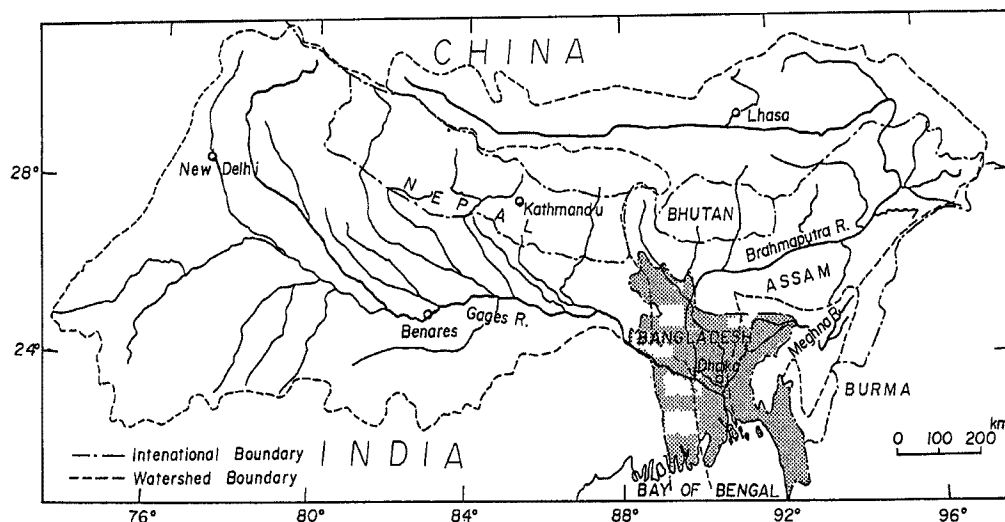


Fig. 1. Bangladesh and drainage basins of the Ganges, Brahmaputra and Meghna rivers.

Table 1. Catchment areas and lengths of the Ganges, Brahmaputra and Meghna rivers.

Rivers	Area (10^3km^2)	Length (km)
Ganges	977 (confluence)	2,200
	907 (Hardinge Bridge)	
Brahmaputra	580 (confluence)	2,600
	536 (Bahadurabad)	
Meghna	77 (confluence)	880
	63 (Bhairab Bazar)	

その他に短期的な洪水として北部・東南部丘陵地帯の急激な洪水とベンガル湾沿岸のサイクロンによる高潮氾濫が挙げられる。高潮災害は海岸から 50 km 程度の地域に限られているが、1960年～1985年の間に 6 回の高潮被害を受けており、1970年11月に30～50万人、1985年 5 月にも 1 万人に及ぶ犠牲者をだしている。

国内の年間降水量は、1,270 mm (西部)～5,600 mm (北東部)、全土平均 2,320 mm であって、その80%が6月～9月に集中している。²⁾ この時期に大河川の増水が重なり、とくにブラマプトラ川とガンジス川の出水ピークが合致する場合には甚大な浸水被害を受ける。また、近年はガンジス川の堰の建造や河川改修あるいはネパールの森林伐採のために、出水が急激になっているという指摘もなされている。人為的影響の度合は明らかでないが、流域の約90%が国外にあって治水対策が難しく、またレーダー 4 基を含む洪水・高潮予警報システムも最近整備されたが、インドの気象・水文データの入手が迅速でなく、洪水予知にも問題が多い。

一方、人口・産業・交通などの社会的条件も水害形態に大きく影響している。とくに人口問題が深刻であって、1985年調査時の人口は、100,468千人（一家族平均 5～6 人）、人口増加率は年2.4%である。³⁾ 国土は農耕地60%、森林15%、水域6%であるので、1億人余の居住可能な実質面積は狭く、河川敷・中州・低湿地など極めて水害危険度の高い地域も居住地に利用されている。産業についてみると、全労働人口の約60%が農業に従事し、農業生産が国内総生産の約45%を占めている。しかし、農地の所有形態や農業技術・

流通機構などに問題が多く、水の過・不足に非常に弱い農業体質にある。とくに、夏のモンスーン季は、アウス米の収穫期で、かつアモン米の苗床・移植の時期に当るので、浸水によって生産高が大きく左右される。また、主要産業であるジャウトに対する洪水氾濫の影響も大きい。

運輸交通については、河川の架橋地点が少ないために貨客の舟航依存度が極めて高く、物資輸送の約20%を占めている。したがって、洪水による鉄道・道路被災とともに河道変動に伴う航路障害も大きな問題になっており、1987年の洪水後には平年の約4倍の河床浚渫が必要といわれていたが、1988年にはそれを上回り、フェリーポートの移設も目立った。

以上の他に、水害時の避難・救援体制の不備、特に保健衛生や医療問題が人的被害を拡大する要因であり、さらに、バングラデシュが現在かかえている最大の課題である財源難（開発費の約80%は外国援助）が、抜本的な水害対策の実施を阻んでいる。このようにバングラデシュでは、洪水、高潮による水害頻度が高く、年平均被害額は約260億円であって、1984/85年のGNPが約2兆円、国家予算が開発費を入れて3,455億円（水資源・治水対策費は315億円）³⁾であるので水害による経済的損失の比重も非常に大きいことがわかる。

2.2 洪水防御対策の推移

バングラデシュにおける主な洪水防御対策の推移とそれに関連する社会的記事を、Hossainらの著書²⁾から年代順に略記するとつぎのようである。

- ・1947年：インドからの分離（東・西パキスタン自治領の成立）
- ・1954, 1955：連年の大洪水
- ・1955年：パキスタン政府の灌漑局から洪水委員会の独立
- ・1956年：国連技術援助—Krug 調査団の派遣
- ・1957年：Krug 報告書の提出—堤防・分水路・河川改修・避難道路と大河川のデルタ開発など国内の総合治水事業を基調とし、河道の堆砂と安定化に言及している。
- ・1959年：EPWAPDA（東パキスタン水資源・水力開発公社）の発足、ミシシッピー河委員会議長 J. R. Hardin による調査、オランダ・デルフト工科大学 J. Thijssse 教授の調査。
- ・1961年：大洪水（ガンジス川）
- ・1963年：Hardin 報告書の提出—Krug 報告書と同様に河川改修と築堤・樋門・ヒューズ堤による洪水疎通対策が主体。
- ・1964年：Thijssse 報告書の提出—貯水池の建造、主要河川の派川維持、河川改修および築堤。WAPDA による基本計画（1965—1985）の策定——1975年の自給自足を目標として築堤と灌漑を主戦略とし、水文データ収集・処理システムの推進、主要河川における51の開発事業と3基の堰の建造、三大河川の両岸築堤・排水・灌漑事業を含む壮大な計画。水利用の全体計画と代替案を示していない点に問題はあったが、以後の治水・利水計画の端緒となった。実施された主要な事業として、Ganges-Kobadak, Chandpur, Dhaka-Narayangonj-Demura 灌漑事業、海岸堤防、ブラマブトラ川右岸堤事業などがある。
- ・1971年：バングラデシュの独立
- ・1972年：WAPDA より BWDB（水資源開発局）分離、第1次5ヶ年計画（1973—1978）の策定—灌漑事業重視、1960年代の上記事業の実施計画。
- ・1973年：第1次オイルショックで計画縮小。
- ・1974年：大洪水（三大河川）
- ・1977年：2年次計画（1978—1980）の策定—小規模な灌漑・治水・排水事業へ転換。しかし、Meghna-Donagoda と Pabna の灌漑事業の実施計画をつくる。
- ・1979年：第2次5ヶ年計画（1980—1985）の策定—中期食糧増産計画のための農業開発。

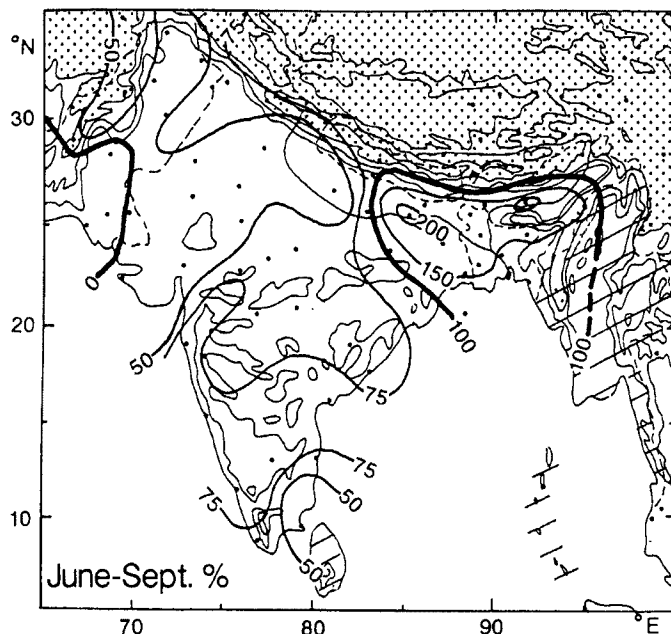


Fig. 2. Geographical distribution of percentage to the normal value of the monsoon precipitation (June-Sept.) in South Asia in 1987 (J. Matsumoto⁴⁾).

・1983年：第2次オイルショック（1979年）の影響が現われ、5ヶ年計画を大幅に縮小する。農業省の下にMPO（基本計画機構：現在は灌漑・水資源・洪水防御省の管轄）が発足し、第3次5ヶ年計画（1985-1990）の策定、2005年までの水資源の展望などを行う。

以上のように、1954年・1955年の大洪水後、国連・米・オランダなどの国際協力を得て、壮大な洪水防御計画が東パキスタン政府のWAPDAによって策定され、バングラデシュ独立後もBWDBに引継がれた。しかし、1973年および1979年のオイルショックによる資金難によって計画が大幅に縮小され、干拓地・輪中堤中心の事業に転換していったと考えられる。最初に述べたように、1987年および1988年の洪水後、再び抜本的な治水計画の立案が国際協力の下で進められているが、歴史が繰り返されているといえよう。

3. 1987年および1988年洪水の降水量分布と出水特性

3.1 降水量分布

1987年洪水の降水量分布と豪雨の発生原因については、インド・ネパールを含めた気象データの収集と解析が松本^{1), 4)}によって行われた。しかし、1988年洪水については、バングラデシュ国内の日雨量とダッカ他1地点の日雨量のデータしか入手していないので、ここでは国内における2年次の雨量分布を比較するととどめる。

まず、1987年6月～9月の南アジアにおける総降水量の年偏差の分布を示すとFig. 2のようである。インドでは北西部を中心に大部分の地域で平常の75%以下の少雨であって、一方、インド北東部・バングラデシュ・ネパール南東部では平常の1.5倍、局地的には2倍を越える降水量があった。

Fig. 3は、バングラデシュ国内における1987年及び1988年の6月～9月の総降水量を平常値（1951-1980年の平均）と比較したものである。1987年の降雨量が全域的に平常値を上回っているのに対して、1988年の多雨域は24°Nより北部に限られており、バングラデシュ中央部から南東部にかけは平常並か、それ以

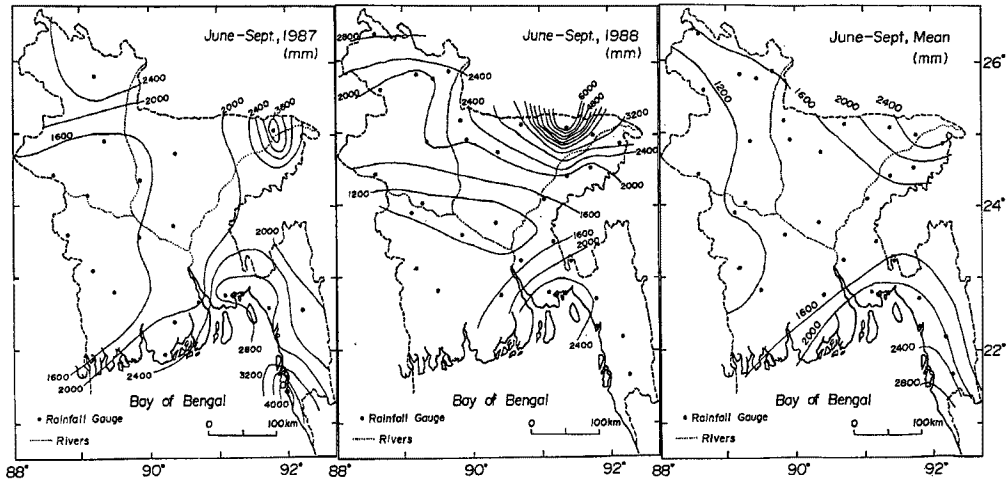


Fig. 3. Geographical distributions of the monsoon precipitation (June-Sept.) in Bangladesh in 1987, 1988 and the normal year.

下の雨量であった。しかし、北部とくにインドのアッサム地方に近い北東部では平年の2～3倍の降雨量がみられ、ブラマプトラ川およびメグナ川の上流域で豪雨が発生したものと推測できる。

つぎに、1987年と1988年の6月～9月における日降雨量の時間推移を、ダッカとメグナ橋地点（ダッカ南東約40 km）のデータから比較すると Fig. 4 のようである。ダッカ地点の1988年のデータは、洪水氾濫の最盛期の8月14日～9月12日の期間に限られているが、この期間の1987年の雨量 354 mm に対して1988年は238 mm であって、67%にとどまっている。一方、メグナ橋地点の2年次の雨量を比較すると、6月には1988年が1987年の2.5倍の降雨量を示しているが、7月と8月では1/2程度の少雨であって、ダッカ市の異常浸水に対する地点降雨の寄与は少なかった言えよう。また、1987年は6月～9月に4回ほどの豪雨があったのに対して、1988年では100 mm/day を越える豪雨がダッカ周辺では発生しなかったことも一つの特徴

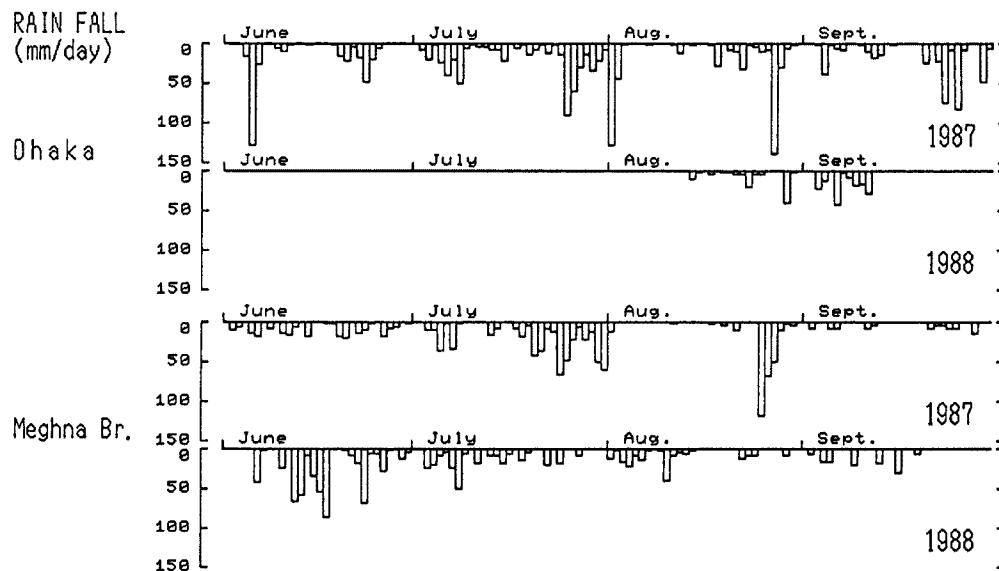


Fig. 4. Daily precipitation in June to Sept. of 1987 and 1988 at the gauging stations in Dhaka and Meghna Bridge.

で、8月下旬から9月初旬にかけての洪水氾濫と増水は、ダッカ市民にとって文字通り寝耳に水であったと思われる。

3.2 出水特性

三大河川における1987年と1988年の水位ハイドログラフを比較すると Fig. 5 のようであって、水文観測点の配置を Fig. 6 に示す。なお、ブラマプトラ川についてはこの2年次で同じ観測点の水位記録が得られていないので、各年の最高水位 (HFL) も図示してある。図中の D.L. (危険水位) は堤防の天端から2～3フィート下の水位に相当するが、いずれの河川も D.L. に近い水位が数ヶ月継続しており、とくに1987年のガンジス川と1988年のメグナ川では D.L. を越える洪水が延2ヶ月余に及んでいる。また、三大河川の水位が D.L. を越える時期は、いずれの年も重なっている。とくに、1988年では水位ピークが8月30日から9月3日の短期間に集中して現われており、極めて危険側の洪水だったことがわかる。1988年の最高水

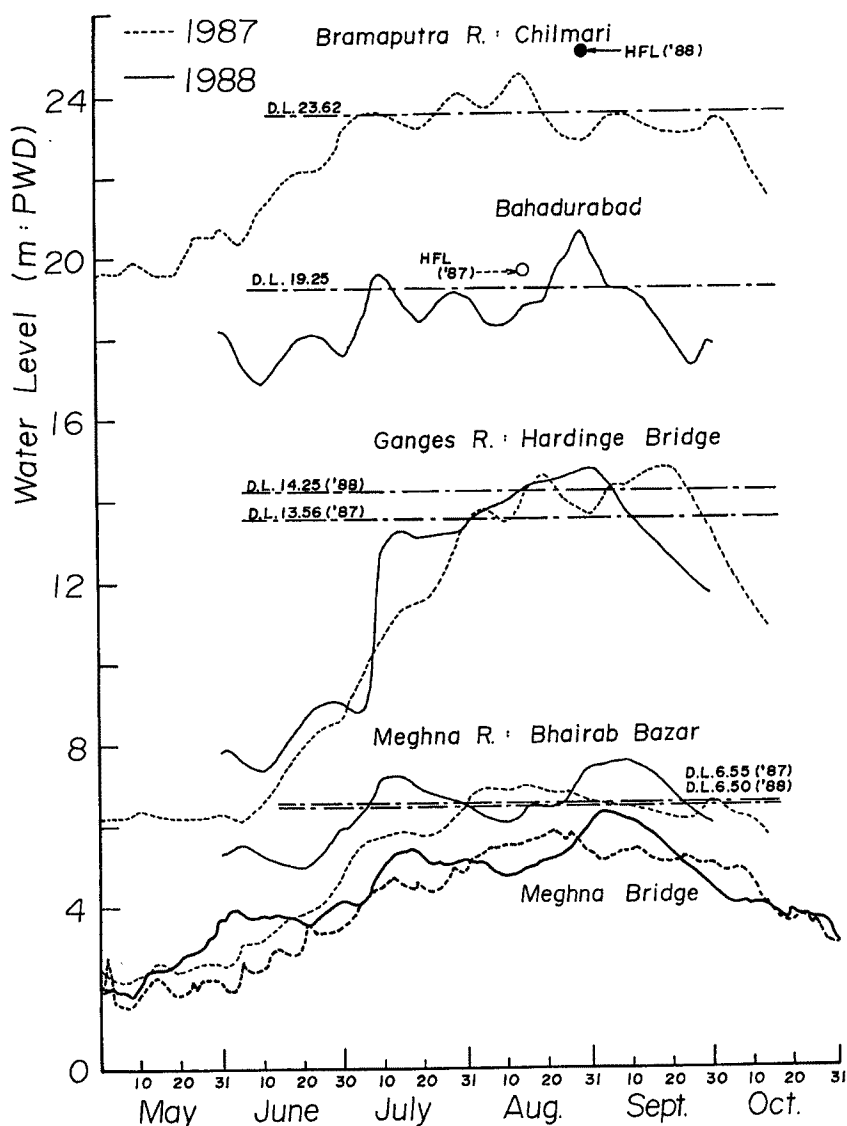


Fig. 5. Water levels of the Brahmaputra, Ganges and Meghna rivers in the 1987 and 1988 floods.

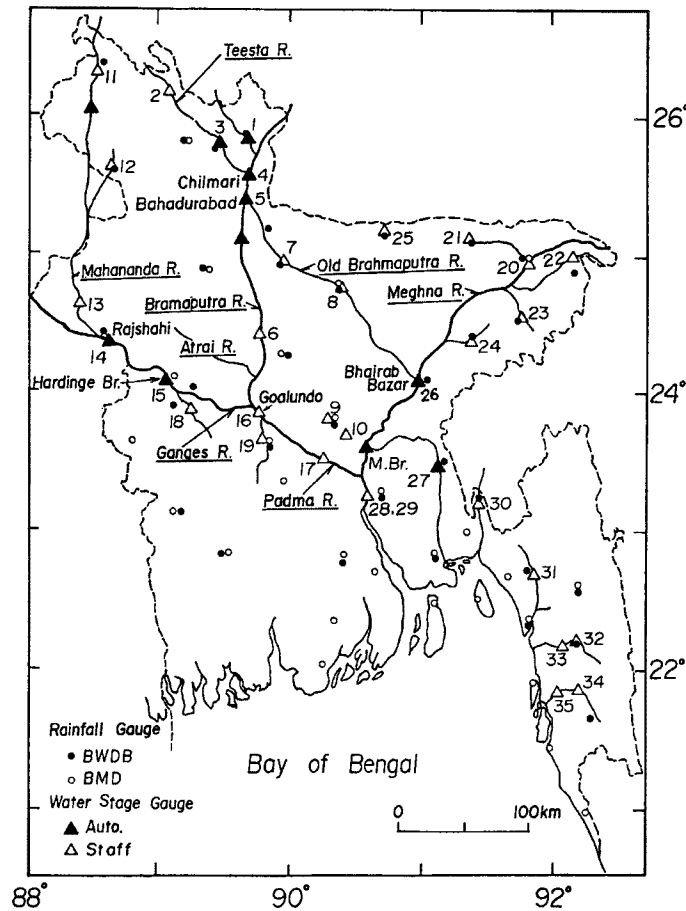


Fig. 6. Rainfall and water level gauging stations.

位を1987年のそれと比較すると、ガンジス川ではほぼ同じであったが、ブラマプトラ川では約 1 m、メグナ川では 70 cm 上回った。

つぎに、各河川の最大流量の推定値、既往最大流量及び20年確率流量（計画基準）を BWDB^{5),6)} と Chowdhury⁷⁾ の資料から纏めると Table 2 のようになる。1987年はガンジス川、1988年はブラマプトラ川とメグナ川で既往最大および20年確率流量を上回っている。また、ガンジス川とブラマプトラ川合流後のパ

Table 2. Comparison of the maximum discharges in the 1987 and 1988 floods with the recorded maximum and 20-year flood discharges.

River (Station)	1987 Flood	1988 Flood	Recorded Max. Flood	20-year Flood
Ganges (Hardinge Bridge)	76,000 (Sept. 19)	72,300 (Sept. 3)	73,200 (Sept. 1, 1961)	74,400
Brahmaputra (Bahadurabad)	74,000 (Aug. 12)	99,500 (Aug. 30)	91,000 (Aug. 6, 1974)	80,800
Meghna (Bhairab Bazar)	15,200 (Aug. 13)	19,800 (July. 11)	19,500 (Aug. 7, 1974)	18,000
Padma (Goalundo)	113,000 (Aug. 20)	132,000 (Sept. 1)	113,000 (Aug. 10, 1974)	111,000

ドマ川ゴアルンド地点の最大流量は、1987年洪水では1974年洪水と同じであり、1988年ではそれを10%以上越えているが、越流氾濫を含めるとさらに12%増 ($160,000 \text{ m}^3/\text{s}$) になると推定されている⁶⁾。

一方、Table 2 に示した各河川の年最大流量 $Q_{\max}$ の年次変化を示すと Fig. 7 のようであって、ガンジス川については年最小流量 $Q_{\min}$ も示してある。近年、上流域（主にインド）の河川改修や堰の建造によってピーク流量が増加しているといわれているが、その傾向は明確でない。しかし、ガンジス川の年最小流量は、ファラッカ堰（国境より 11 km 上流地点で1975年分水開始）の建造後急激に変化し、建造前の約1/2の

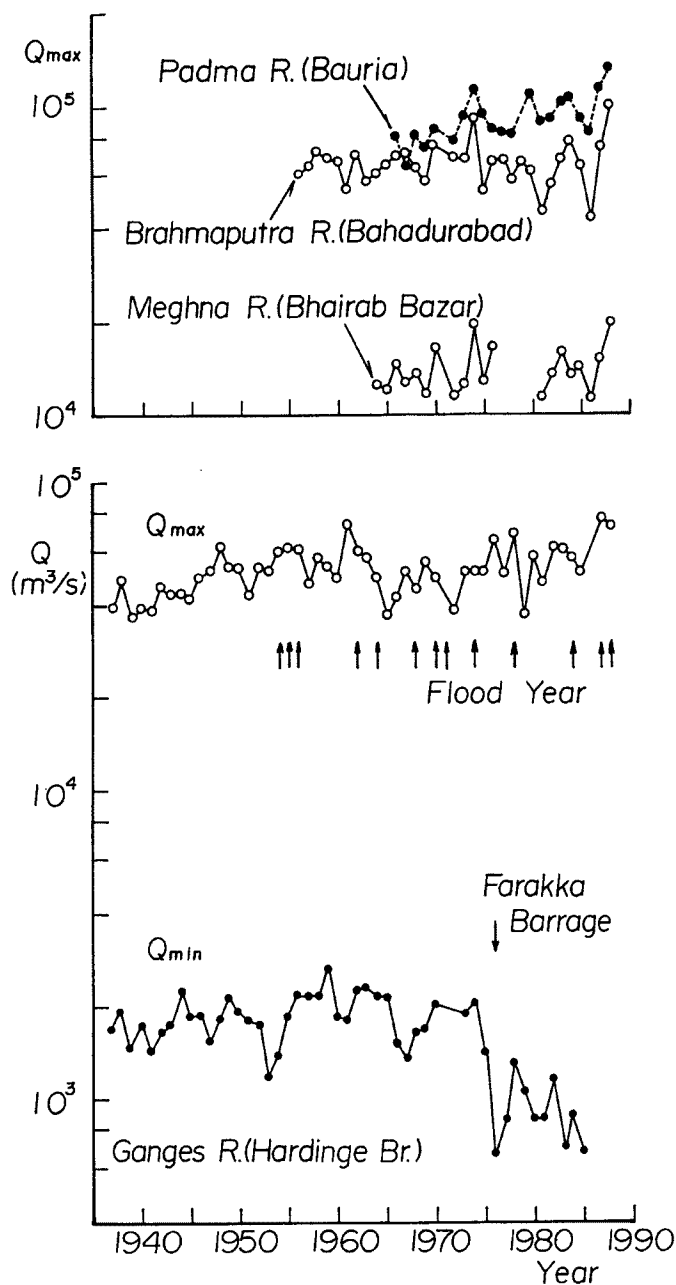


Fig. 7. Time series of annual maximum discharge ($Q_{\max}$) in the Padma, Brahmaputra, Meghna and Ganges rivers, and annual minimum discharge ($Q_{\min}$) in the Ganges River.

流量に減少している。また、図中には洪水災害の発生年（1954年以降13回）が矢印で示されているが、年最大流量との対応は1974年（ブラマプトラ・メグナ川主体の洪水）を除いて明確でない。これは、各河川とくに、ブラマプトラとガンジス川の洪水ピークの合致性および洪水の継続時間、国内の降雨による内水位の変化など他の要素の影響も大きいと考えられる。

つぎに、三大河川および南東部丘陵地河川の各水位観測点における最高水位と危険水位の差（HFL-D.L.）を、1987年と1988年洪水で比較すると Fig. 8 のようである。また、Fig. 9 では、危険水位を越えた日数について2年次の比較を行っている。なお、図中の数字は Fig. 6 の水位観測点の No. に対応している。1988年洪水の最高水位は、南東部丘陵地河川とガンジス川上流区間を除く大部分の地点で1987年洪水の最高水位を最大1m程度上回っており、とくにブラマプトラ・メグナ両河川流域での水位が高い。また、1988年洪水の危険水位超過日数は、ガンジス川では全観測点で1987年のそれを10～20日程度下回っているが、メグナ川とブラマプトラ川ではほとんどの地点で1987年の危険水位超過日数を10日以上も上回っており、とくにメグナ川の中流・上流区間で D.L. を越える日数が2ヶ月以上に及んでいる。なお、1987年以前の洪水最高水位・継続日数と比較すると¹⁾、1987年洪水ではガンジス川と南東部丘陵地河川が過去の記録を上回っており、1988年洪水はメグナ川とブラマプトラ川が主体の出水で1974年洪水と類似している。

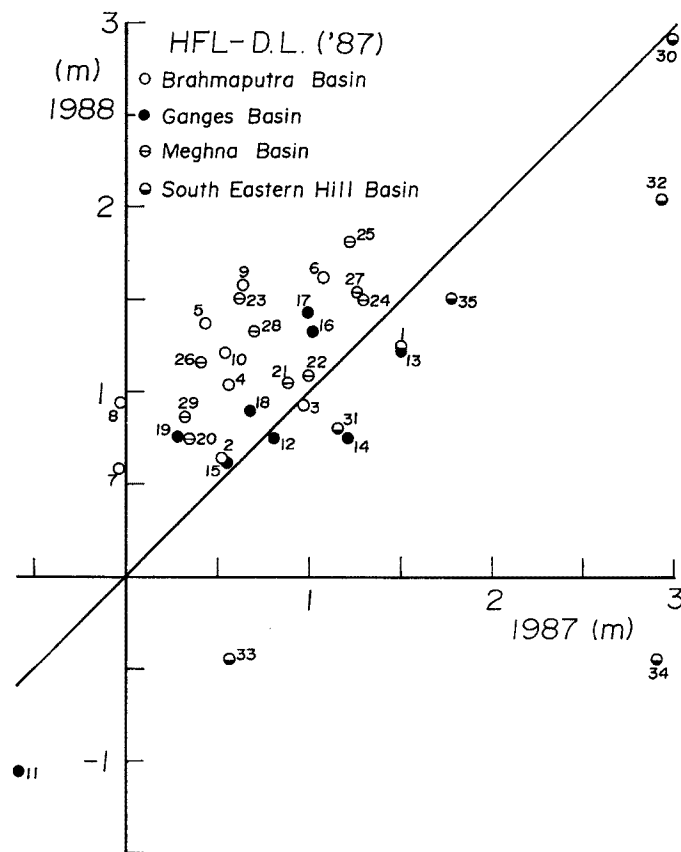


Fig. 8. Comparison of the highest water level above the danger water level among four river basins in the 1987 and 1988 floods.

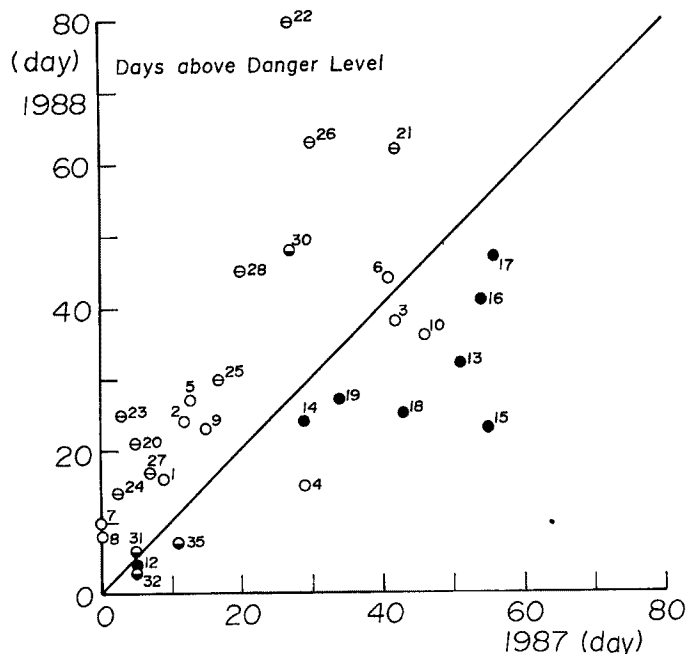


Fig. 9. Comparison of days above the danger water level among four river basins in the 1987 and 1988 floods.

4. 洪水氾濫の推移

バングラデシュ全土にわたる洪水氾濫状況を把握する資料としては、若干の人工衛星写真 (NOAA 及び LANDSAT) を入手した。しかし、撮影条件の良いものが少なく、氾濫の推移を追跡することは難しいので、新聞記事 (主に “Bangladesh Observer”) から被災地区を抽出・図化した結果を、1987年および1988年洪水について示すとそれぞれ Fig. 10, Fig. 11 のようである。まず、1987年の洪水氾濫の推移を要約するとつぎの4段階に大別される。

- ・第1段階 (7月初め)：北西部のロングプールと北東部のシレット周辺の降雨に伴う上流域の浸水。
- ・第2段階 (7月末～8月初め)：第1段階と同様に北西部北東部の豪雨による氾濫が主体であるが、さらに被災範囲が広がって一部ブラマプトラ川左岸の地域にも影響が現われた。
- ・第3段階 (8月中旬)：主に三大河川の増水と上流域の中小河川の氾濫が下流へ伝播することによる氾濫であって、ファリドプールやダッカなど国土の中央部まで影響が及び、広域で最も激甚な浸水被害が発生した時期である。
- ・第4段階 (9月中旬～下旬)：ラジシャヒ・パプナ・ファリドプールなど、主にガンジス川の高水位の影響を受ける地区の浸水。

その他、Fig. 10 には一部しか示されていないが、チャッタゴン・シレット東部などの丘陵地では、急激な出水による短期の洪水氾濫が幾度も発生した。

一方、1988年の洪水氾濫は、Fig. 5 の水位ピークの発生時期からもわかるように、7月10日頃にメグナ川とブラマプトラ川流域で若干の浸水被害を受けたが大々的な新聞報道はなく、8月下旬から9月上旬にかけて全土各地の水害状況と河川水位の推移 (実況と予測) が連日報ぜられた。Fig. 11 では、8月26日～9月14日の期間を約1週間単位で3分割して、被害した県 (District) と特に被害が激甚であった郡 (Upazila) をそれぞれ斜線と格子線で表している。Fig. 10 との比較からわかるように、1988年洪水による氾濫域の拡大は急速であって、最初の1週間で北部から中央部にかけて全土の約半数の県が被災しており、激甚被災地

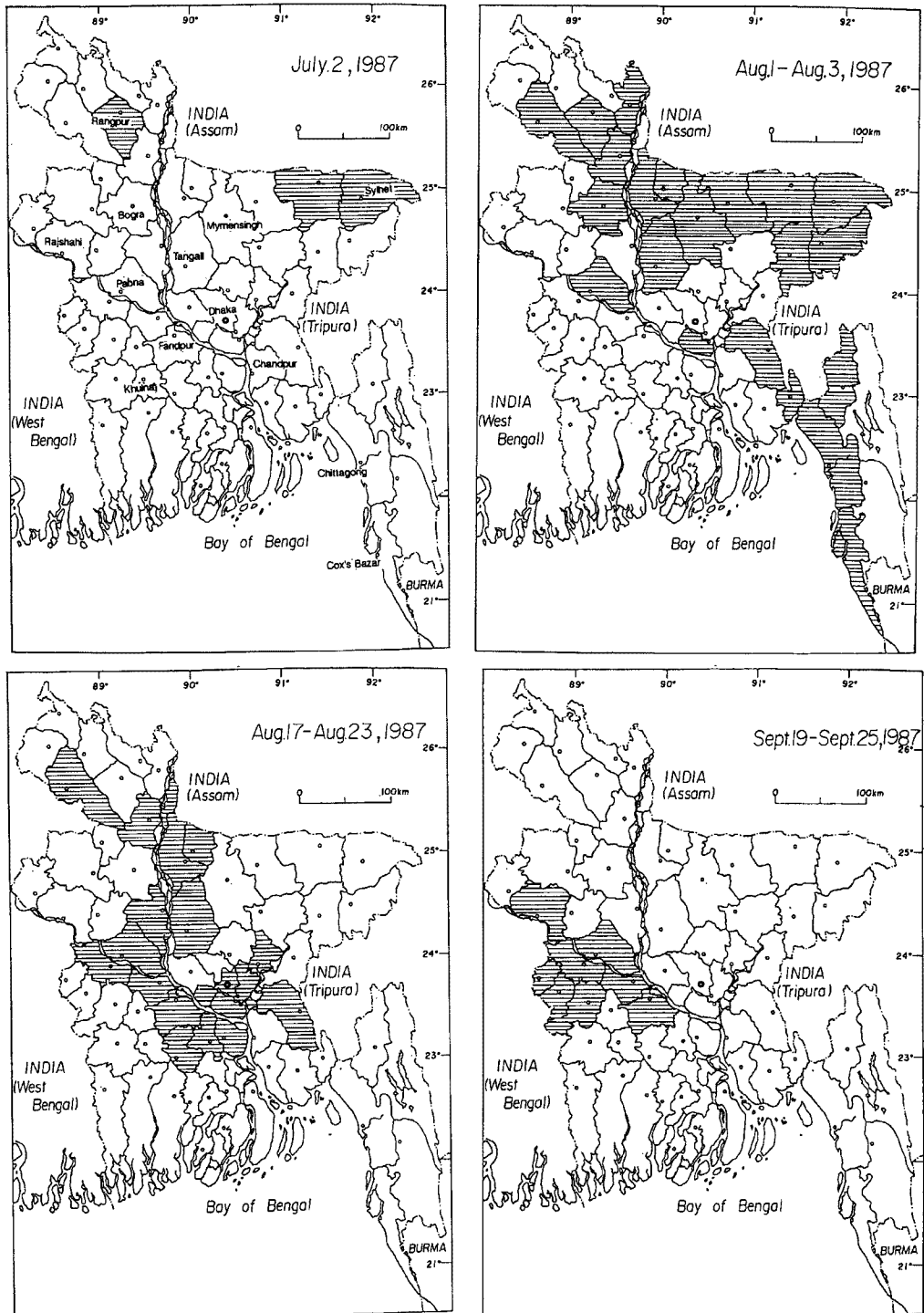


Fig. 10. Regional distributions of the affected area during the 1987 flood.

区はブラマプトラ川およびパドマ川とメグナ川下流部の沿岸域に集中している。つぎに9月2日～7日の期間では、氾濫域の南側への拡大は顕著でないが、パプナ・ファリドプール・ダッカなどの中央部で氾濫水位が最高に達した時期で、ダッカ市では1987年の浸水位を約 50 cm 上回り、6日間の空港閉鎖など未曾の被

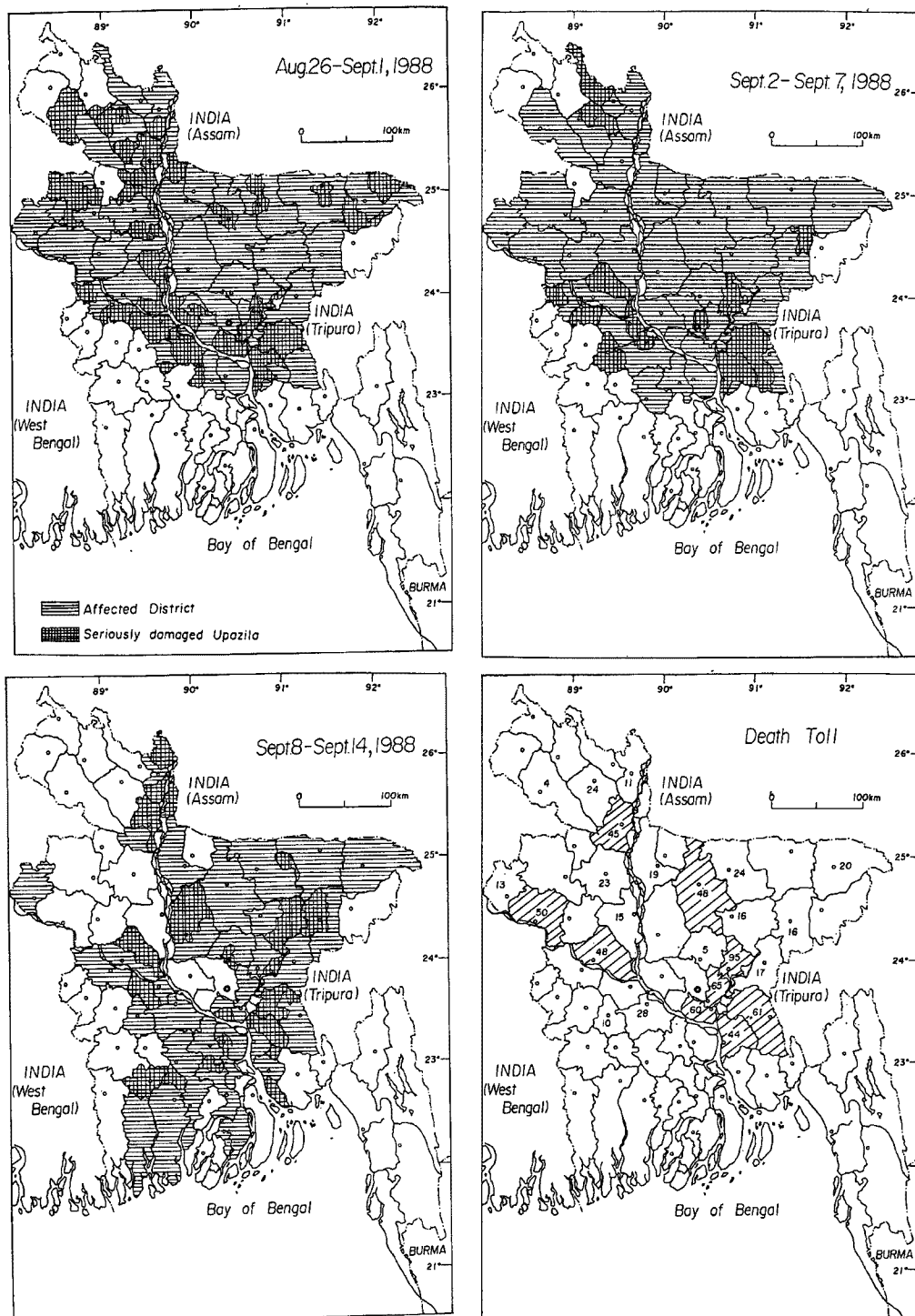


Fig. 11. Regional distributions of the affected area and death toll during the 1988 flood.

害をうけた。最後に9月8日からの1週間では、北西部の浸水は軽減したが、氾濫域が南部に拡大してベンガル湾沿岸の県にも影響が及んだ。なお、Fig. 11の右下図に、新聞に掲載された犠牲者の総数を県別を示したが、死者40名を越える県はいずれも河川沿いに位置しており、とくにメグナ川合流点周辺の県の被害が

大きかったことがわかる。

以上のように新聞報道によって洪水氾濫の経過をある程度把握できるが、日時の正確さに問題があり、被災地区の記述も網羅的でないので日単位で氾濫の推移を追跡することはできない。そこで、Fig. 6 に示した水位観測点における最高水位の生起月/日^{5), 6)}を、1987年と1988年洪水について示すと Fig. 12 のようである。1987年の洪水では、ガンジス川とメグナ川上流部を除いて8月中旬に最高水位が現れているが、ブラマプトラ川沿いの最高水位の生起月/日に注目すると、バハドゥラバットからガンジス川合流点（ゴアルンド）までは5日の遅れがあり、オールド・ブラマプトラ川沿いのマイメンシンまでは6日の遅れである。一方、1988年洪水では、これらの対応する地点の最高水位の生起日の遅れは、それぞれ3日と4日であって、明らかに1987年洪水に比してピーク水位の伝播速度が大きく、氾濫域の拡大も速かったと考えられる。また、1988年洪水では、ガンジス・パドマ・下メグナの各河川の最高水位も1～2日程度の遅れで生起しており、周辺地域の洪水氾濫が急激で、かつ広域に及んだことが推測される。

このように、1988年洪水の伝播速度は既往の記録を上回るものであったと考えられる。しかし、北部の国境付近からダッカ周辺の中央部までの最高水位の生起日数の遅れをみると1週間程度の余裕があって、水位の上昇速度も Fig. 5 に示した大河川では10～20 cm/day 程度で緩慢である。したがって、破堤を伴う外水氾濫を除けば、水位法による洪水予知が可能と考えられ、とくに、ブラマプトラ川の左岸域では Fig. 12 に示した2年次の生起月/日の推移（洪水伝播）に規則性が認められるので、今後、地形データを導入して解析することにより予警報面への活用を図ることができよう。

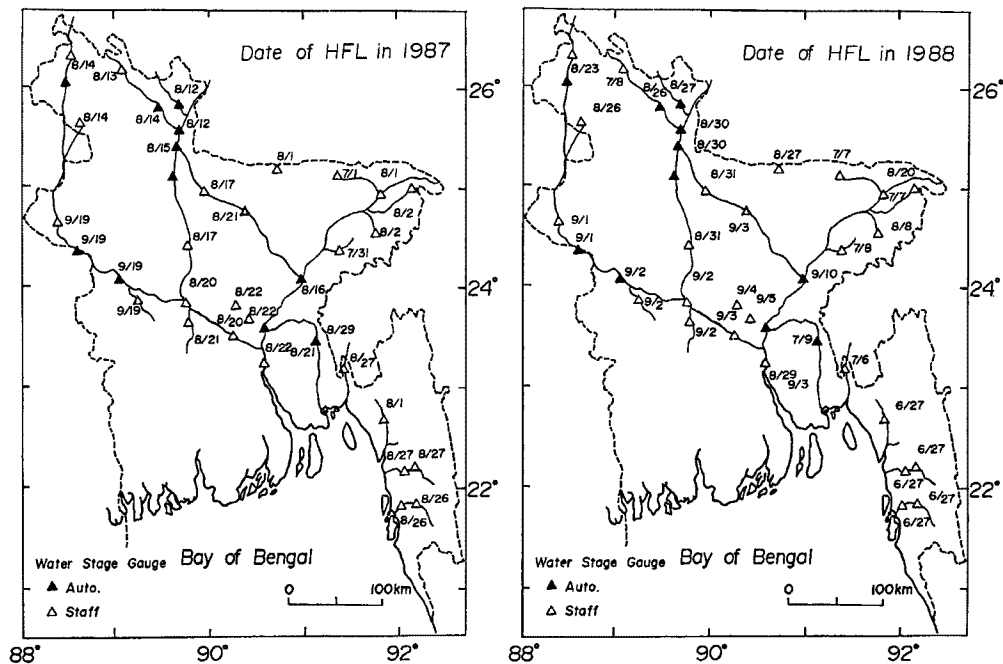


Fig. 12. Date of the highest flood level at each water level gauging station in 1987 and 1988.

最後に、1987年と1988年の洪水によるバングラデシュ全土の被災率区分図^{5), 6)}を示すと Fig. 13 のようである。被災率は、被災面積の比率が4階級に区分されていて、農地の浸水被害が主であるので、氾濫域の分布の目安になる。とくに、1987年の区分図は郡単位で細分化して表されており、大矢による水害地形分類図⁹⁾と被災率がかなり対応することが明らかになっている¹⁾。一方、1988年の区分図は、かなり粗視的に表されているので、1987年との比較は厳密にはできないが、被災率25%以下の地域は、チッタゴン地区とベン

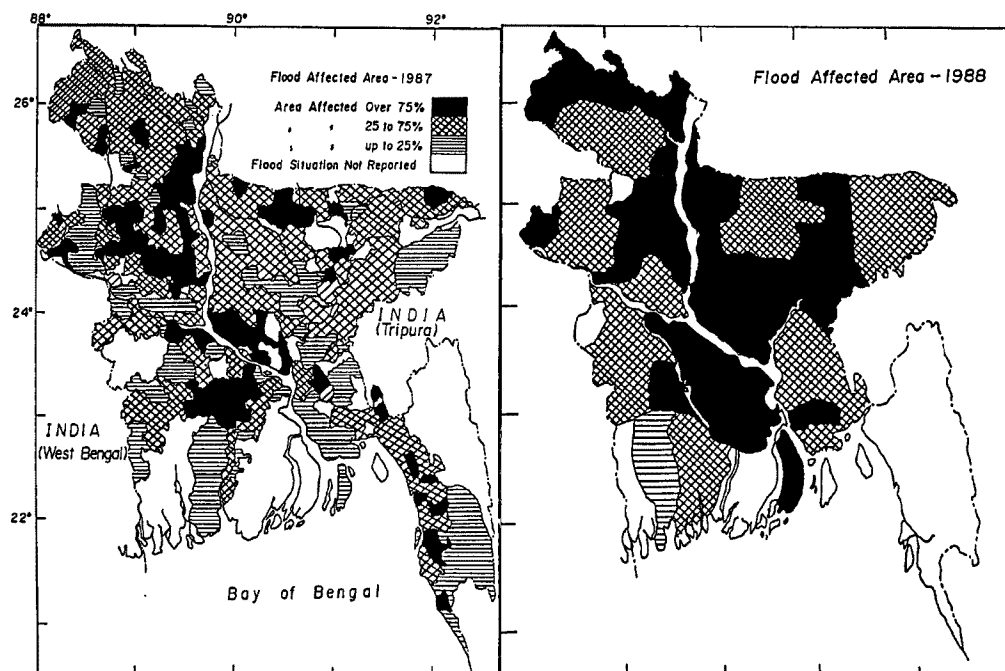


Fig. 13. Regional distribution of percentage of flood-affected areas in 1987 and 1988.

ガル湾に面する一部に限られ、1987年に比して中央部での被災率が著しく高くなっている。

以上、1987年と1988年の洪水氾濫の比較を行ったが、1987年の洪水については北西部の5支川流域の流出解析とガンジス川の北側低平地における氾濫解析が岡¹⁾,⁹⁾によって行われており、洪水流出と氾濫水の流動の特徴が明らかにされている。

5. 河道の変動と治水・利水施設の被害

5.1 流路変動と河岸侵食

バングラデシュの河川は、河岸の大部分が固定されていないので、流路の変動と河岸侵食が激しく、毎年100万人の住民が土地や家屋の流失被害を受けており⁷⁾、堤防・橋梁・堰などの河川構造物の破壊と機能障害や航路埋没も洪水のたびに問題になっている。BWDBの統計(聞き込み)によると、三大河川の河岸侵食個所の延長は、ブラマプトラ川 163 km, ガンジス(パドマ)川 94 km, メグナ川 67 km であって、全人口の15~20%が侵食危険個所に住んでおり、とくにブラマプトラ川の河岸侵食が深刻である。

Fig. 14 は、ブラマプトラ川の下流約 150 km 区間における1972年~1989年の流路変動を、ランドサット写真(1/100万)からトレースしたものである。1987年8月以外は乾季の写真であるので、主流路(実線)の判別は明確でないが、流路幅約 1 km 以上のものを主流路とみなしている。この18年間では、Fig. 7 に示したように1974年と1988年に 90,000 m³/s を越える大洪水が発生しているが、全体的な流路形態の特徴は変化していなく、測点 J-7 付近より上流で典型的な網状流路、それより下流では蛇行流路に近い特性を示している。また、上流部の網状流路には、大規模な砂州の消長や移動に伴う規則的な変化はなく、全流路の包絡線の幅が最小あるいは最大になる位置もほとんど移動していない。一方、下流部における主流路の蛇行傾向は不規則であるが、1978年から次第に明確になり、とくに J-2~J-4 の弯曲部の発達が顕著である。

Fig. 15 は、1987年~1989年のランドサット写真(1/20万)から相隣る2年間の河道平面図を重ねたものであって、侵食・堆積域が示されている。J-4 付近より上流では、1987年~1988年の間で砂州中央やや左岸

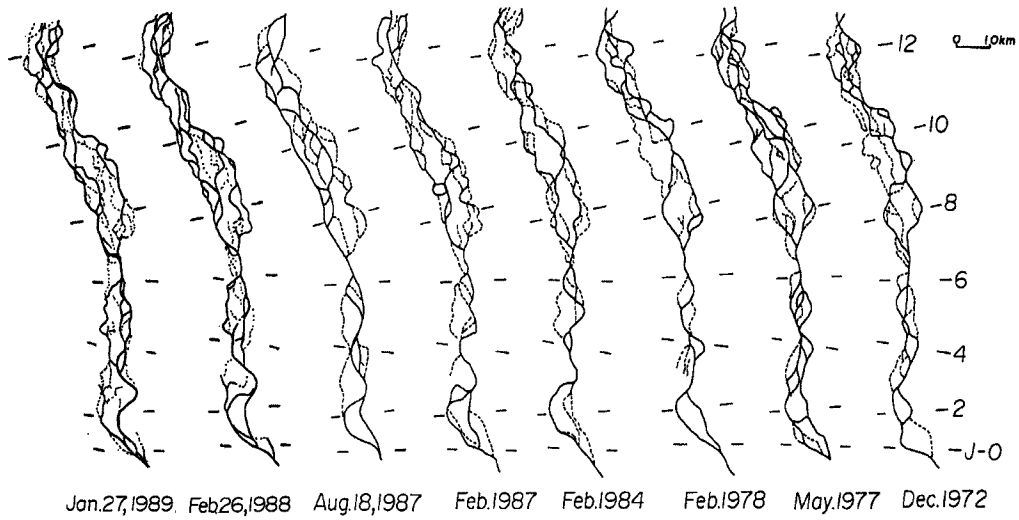


Fig. 14. Changes in thalwegs obtained from the Landsat images in the Brahmaputra River.

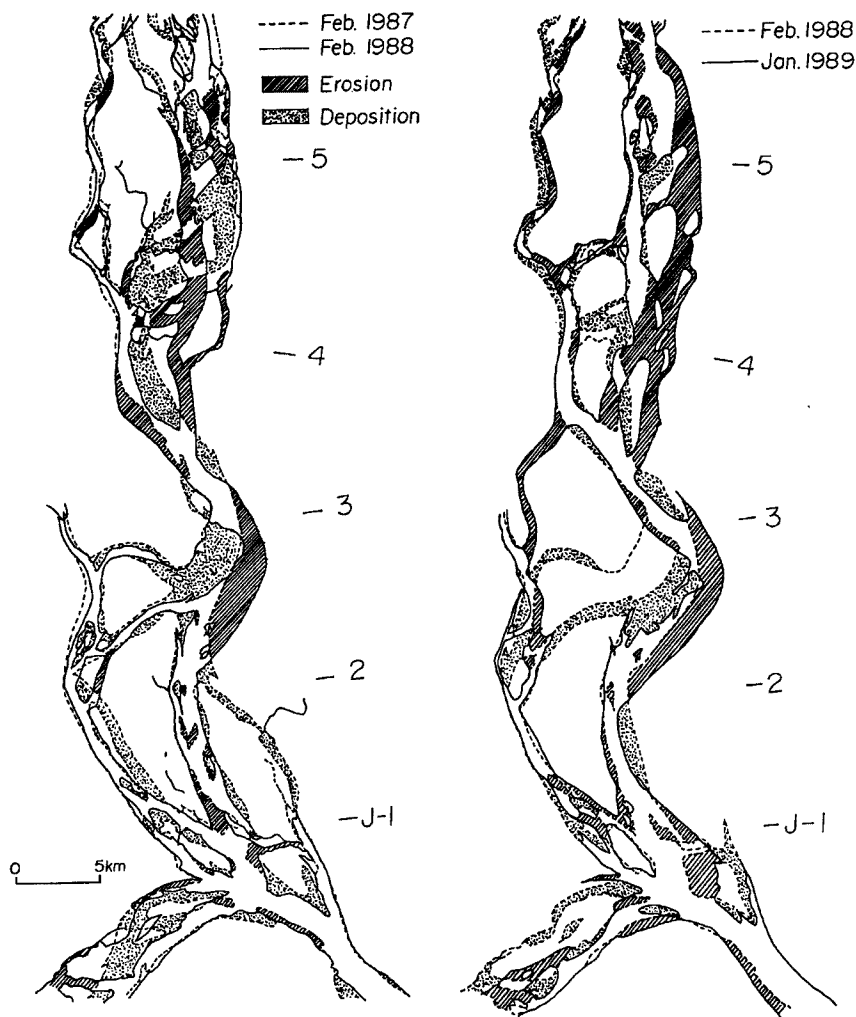


Fig. 15. Distribution of erosion and deposition areas during the 1987-1988 and 1988-1989 periods.

よりに直線的な流路が発達し、1989年にはさらに左岸に幅 2 km 程度の新たな流路が形成され、下流の蛇行と整合しなくなっている。一方、J-4 より下流では、J-2~3 の蛇曲部の発達と下流への移動が顕著であって、1987~1989年の間で弯曲内岸の堆積と外岸の侵食距離は最大約 5 km にも及んでいる。1987年と1988年の洪水による蛇行発達の差はほとんどなく、むしろ流量規模の小さい前者の方が堆積・侵食範囲が広いようにみえる。また、全体としては、1987年より1988年の洪水後の方が侵食面積が大きく、堆積域の面積が小さくなっているが、河岸や砂州の高さが不明であるので量的には明らかでない。

つぎに、ブラマプトラ川の河岸線の変化を、既往の調査資料^{8),10)}と1987年8月のランドサット写真から調べると Fig. 16 のようである。1830年は、オールド・ブラマプトラ川から現河道に完全に流路が付替った年といわれている⁸⁾が、河幅は現在の1/2~1/3程度であって、J-10 より上流では明らかに蛇行河道を形成している。1952年には、ほぼ現河道に近い河幅に拡がり、J-11 付近より上流では右岸(西)側の拡幅が顕著であって、蛇行傾向は認められない。1987年の河道は、J-9 付近から上流で1957年の河道よりさらに右岸側が拡幅され、J-7 付近より下流部では逆に河幅が縮小する傾向がみられる。

一方、河幅の年次変化を明確にするために、1830年および1963年の河幅¹⁰⁾と1987年のそれを比較すると Fig. 17 のようである。まず、前二者の変化をみると、1830年の河幅が極大値を示す地点での拡幅は認められなく、その中間で河幅が3~4倍に拡がり、1830年と1963年で河幅の流下方向変化の位相が逆転している。Fig. 16 と Fig. 17 を比較すると、この河幅の固定点と拡幅の顕著な地点は、それぞれ1830年河道の蛇曲部と蛇行の転向部(あるいは直線部)にほぼ対応しており、1830年以降に後者の部分で流路の網状化が進行したものと考えられる。また、1963年から1987年への河幅の変化は、シラジガンジ(J-7)より上流部では4つの極大値のうち上流側の二つは若干下流へ移動しているが、ほぼ類似した波形を保持して拡幅している。一方、J-7 下流部では J-3 の下流側で拡幅、J-3~7 の間で縮小し、ピークの数3つから1つに減少しており、J-7 上流部に比べて変化が顕著である。

以上のように Fig. 14 と Fig. 17 の検討結果から、J-7 付近の上下流では、河道形態の相違によって拡幅特性が異なっていると考えられる。同一河道でありながら、河道形態が変化する要因を明らかにするために、河道条件を調べた結果、1987年および1988年洪水の最高水位から求めた水面勾配はいずれもシラジガンジ上流部で1/12,000、下流部で1/14,000であって、河床材料は上下流部ともに平均粒径約 0.2 mm の細砂からなっており、洪水時の河幅は6~12.5 km、平均水深は8~10 m である。この条件を用いて河道形態の形成領域を検討すると、上下流部ともに蛇行形態の領域に入り、上流部の網状形態が説明できなかった¹⁾。一方、1965/66年~1983/84年の期間の河床変動資料¹¹⁾を検討した結果、上流部で河床上昇、下流部で河床低下の傾向が認められ、前者の区間では小規模な砂州の発生・発達と流路の網状化が持続する状態にあると推測された。¹⁾なお、1987年8月の洪水ピーク時のランドサット写真から求めた流路の全幅は4.1~11.9 km (平均

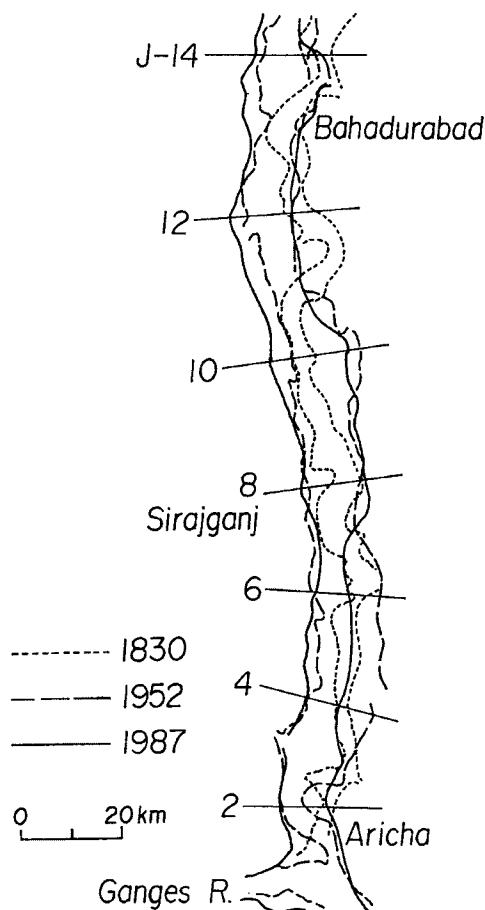


Fig. 16. Changes in plane form of the Brahmaputra River.

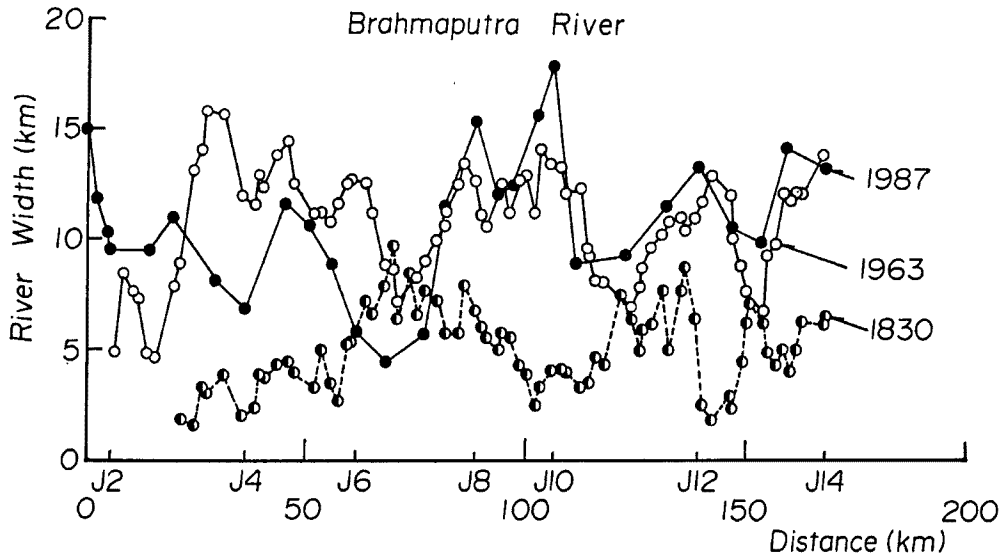


Fig. 17. Changes in river width of the Brahmaputra River.

7.8 km) であって、ピーク流量 $74,000 \text{ m}^3/\text{s}$ (Table 2) に対する砂礫河川のレジーム (安定流路) 幅 1.4 km に比して 3～8 倍の非常に広幅の流路を形成している。こうした非平衡状態の細砂河川については、詳細な観測に基づく研究成果が少なく、砂礫河川の流路変動との相違点を明らかにする必要がある。

最後に、河岸の侵食形態を三大河川の現地調査結果から概述する。これらの河川の河岸侵食形態は主に構成材料によって異なっており、細砂・シルト河岸では水際より上部で切り立った状態か、オーバハングした形状を呈し、水中では緩斜面か水平に近い段丘部がみられた。一方、粘土質河岸では幾重もの不規則な階段形状か、凹凸の激しい斜面が水中まで伸びた形態で、波浪による洗掘穴を伴った侵食痕跡が各所でみられた。ブラマプトラ川とメグナ川では前者、ガンジス川では後者の侵食形態が目立ったが、その他に、粘性土と細砂の互層からなる河岸では、広い範囲にわたって陥没あるいは沁りを生じ、大きな土塊が波打った状態で川へ押し出されていた。以上、三種類の河岸侵食形態を挙げたが、それらの中間的形態や判別の難しいものもあって、とくにガンジス川の侵食形態は多様であった。

5.2 治水・利水施設の被害

バングラデシュにおける近年の治水・利水事業は、2.2 にも述べたように灌漑・排水・洪水防御を総合した地区単位の事業が主であって、施設としては輪中様式の干拓堤防と水路・ポンプなどの関連工作物が多い。その他に、主要都市や港湾周辺では護岸・水制や取水堰などが一部施工されている。

BWDB の統計¹²⁾ によると、1987年の洪水による堤防の被災延長は、全面損傷 189 km、部分損傷 1,527 km、決壊部 232 km であって、堤防総延長の約1/3が被災している。また、水路の被災延長は 165 km (その1割は全壊)、構造物の被災は、防護工154箇所、一般構造物 (暗梁・橋梁) 691箇所へのぼる。以上のBWDB 関係施設の復旧費は約67億円と小麦 (現物支給) 69.028 M/Ton と推定されている。一方、1988年の洪水による被害については、堤防 2,500 km、水路 400 km、構造物1,200箇所の損傷があって、復旧費約280億円とされている。¹³⁾ さらに、その他の公共土木施設について、2年次 (1987年/1988年) の被害を比較すると、舗装道路 (1,523～2800/3,000 km)、鉄道 (271/1303 km)、橋梁・暗梁 (1,102～1,480/998箇所) となっている。これらの被害統計の精度に問題はあるが、1988年の洪水被害が1987年のそれをかなり上回っていることは明らかである。

Fig. 18 は、1987年洪水による堤防の被災延長¹²⁾ を県別に集計 (部分損傷は1/2に換算) したものであって、

家屋被害の激甚地区(郡単位)も黒地で示されている。堤防被害の大きい地域は北西部から南東部にかけて分布している。一方、家屋の被災地区は、大部分がブラマプトラ川沿いに分布しており、その他ではパドマ川とメグナ川の合流点付近に位置していて、前述の流路変動と河岸侵食に起因するものと考えられる。一方、1988年の河岸侵食被害については、メグナ川下流部の現地調査を行ったが、流量基準地点のバイラブ・バザールから合流点付近のチャンドプールの約 80 km の区間で、6ヶ所の緊急復旧地点(都市域・鉄道・干拓堤防)が挙げられていた。その他に、集落、学校などの流失被害も多数見聞したが、緊急復旧対象にはなっていない。

Fig. 18 に示した堤防の決壊原因については、通常の越水破堤以外に、波浪による侵食、住民による開削、

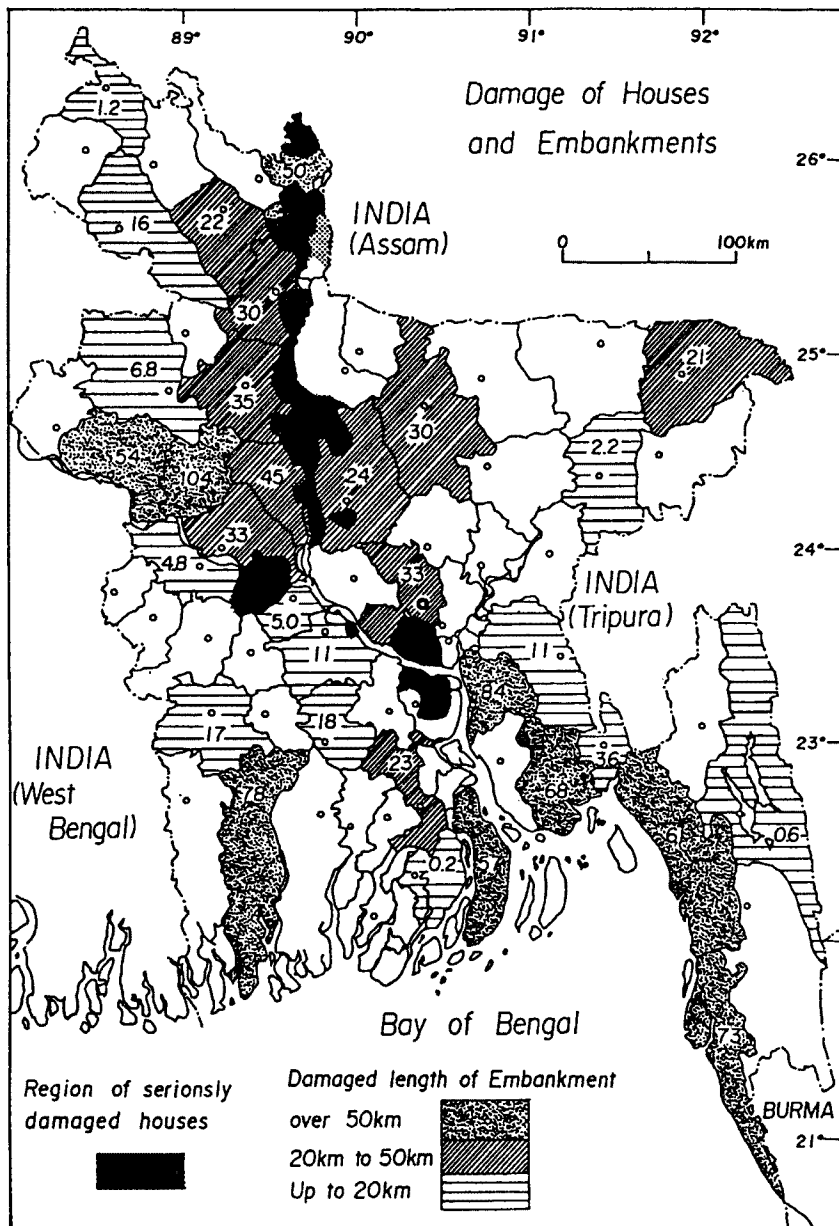


Fig. 18. Regional distribution of damaged houses and embankments.

ネズミの穴からの漏水などわが国ではみられない特殊な破堤も目立ち、干拓地の規模の広大さと湛水の長期化および堤防の管理に問題があると考えられた。また、大河川の河川構造物については、新設の大規模な横堤や護岸の被害は軽微であって、1987年および1988年洪水に対してもその機能を發揮しており、レンガブロック水制や木製の樋門など旧式の構造物の被害が顕著であった。

6. 生活被害と水害時の対応

1987年および1988年の洪水による人的被害と家屋・農産物などの生活被害を、小田¹⁾および国連¹⁴⁾による集計からまとめると **Table 3** のようである。被災面積は、1987年が国土の約35%，1988年では約60%にも及んでいる。被災者数は、戸籍がない人が多いので正確な数は望めないが、1987年は4人に1人、1988年には全人口の半数近くが罹災しており、被災面積に比例している。これに対して死者数はほぼ同数であって、2年続きの水害であったことと、1988年の洪水継続時間が短かったことによると考えられる。しかし、下痢や胃腸炎などの発病者数とそれによる死者数は増加しており、浸水範囲の拡大が汚物の流出や飲料水の不備など衛生環境を悪化させたものと思われる。その他、栄養不良や毒蛇に噛まれて亡くなった人も多いといわれているが、詳細は不明である。

被災家屋数についてみると、1988年は1987年の5倍に上っている。このうち1987年の全壊家屋は約4割を占めており極めて比率が高い。この原因は、多くの住居が土や竹藁など水に弱い材料が作られていることと、河岸や河川敷に立地していることに基因している。一方、農業被害は食糧不足と失業に関係する最も深刻な問題であって、1987年は近年最大の被害高といわれたが、1988年もそれにつぐ被害（年間生産量の14%）を受けている。

つぎに、水害時の対応として、洪水予警報と避難の実態についてみると、洪水予警報の責任機関はBWDBであって、洪水情報は新聞・ラジオ・テレビでも報道されるが、住民への警報の発令は地方・県・郡・行政村の責任で行われ、とくに行政村では住民の行動に対して細い指示をすることになっている。

小田の聞き込み調査¹⁾によると、1987年の水害に関しても警報活動が効果的で、日刊紙も重要な役割を演じたと救援復旧省は答えており、1988年の新聞報道では、4.で述べたようにさらに詳細な洪水・水害記事が連日掲載されていた。しかし、国民の識字率は10才以上人口の28%であり、日刊紙の購読率が都市部22%・農

Table 3. Comparison of damages between the 1987 and 1988 floods.

Items	Year	1987 Flood	1988 Flood
Flooded area (km ²)		55,181~56,607	122,000
Affected area (km ²)		49,247~50,849	81,831
Affected people (10 ³)		24,800~29,700	46,700
Death toll		1,402~2,055	1,644
(by water-born illness)		(603)	(735)
Patients with water-born disease (10 ³)		270	300
Damaged houses (10 ³)		1,941~2,528	12,800
Fully (10 ³)		772~1,042	3,800
Partly (10 ³)		1,040~1,486	—
Damaged educational institutes		13,738	19,016
Damaged farmland area (km ²)		19,655~26,565	20,000
Loss of rice crop (10 ³ tons)		3,540	2,500
Loss of poultry (10 ³)		206~336	410

村部2.5%にすぎず、ラジオ・テレビの普及率もそれぞれ28.5%と6.7%に留まっているので、マスメディアを通じての警報活動より口コミの伝達が重要と考えられる。

一方、水害時の避難については、上述の各自治体の責務になっており、1987年の洪水時には、約3,000の避難場所を100万人が利用したといわれている。しかし、避難すると土地・家などの所有権を放棄したとみなされるために家を離れたがらない人が多いようであって、Table 3 の被災家屋数から考えると、避難した人数の数倍が家の屋根や仮小屋などに留まり、自力で避難生活を送ったとみられる。また、駅舎やビルの廊下、さらには堤防や路上で野営の形で避難所が開設されたところも多かったようである。こうした状況では飲料水・食糧・医薬品も不足し、飢餓状態や病気の発生を招いたことも想像に難くない。以上のように、洪水警報が発令されたとしても1~2ヶ月も続く避難生活を支える体制に問題が多い。

最後に、水害の救援・復旧活動については、1988年は水害発生直後の9月3日に国際的救援が要請された¹⁵⁾が、1987年の水害では、8月19日(洪水氾濫の第3段階)であった。その時点まで、救援復旧省は農村地域の季節失対事業用に保有していた小麦を大量に供出し、大統領救援資金によって建築用材・衣類・医薬品などの購入も行われた。また、関係省庁や自治体をはじめ、軍隊・赤十字・ボランティア組織などが協力して公共施設の復旧活動と救援資金や物資の調達に当たった。しかし、8月12日付のUNDRO(国連災害救済調整官事務所)の報告¹⁶⁾によると、死者126人、被災者1,167万人にのぼり、政府の備蓄穀物も底をついて、国際諸機関は食糧を中心とした救援体制を整えながら、しきりに国際的救援の必要性をバングラデシュ政府に説いていた。

国際的救援の要請後は、国連による被害状況・救援復旧の調査と平行して、現金・食糧・医薬品・復旧建材など多種目にわたる援助が日本を含めた約30ヶ国の政府機関、国際機関及び無数の非政府機関(NGO)や個人から寄せられた。その総額は8,683万USドル相当(1988年洪水では1.04億USドル¹³⁾)にのぼる。また、それ以外に医療チーム、技術者などが国外の政府機関を通じて派遣され、さらに赤十字やその他多くのNGOによって保健衛生の管理・住宅復興の立案・井戸掘りなどが行われた。こうした救援活動の中心的役割を果たしたのはUNDROと国際赤十字であるが、各国の政府機関やNGOも含めて平時の救助体制が災害時にも連動し、被害の軽減と復旧に大きな役割を果たしたといえよう。

7. 結 言 —洪水の原因と水害対策—

バングラデシュでは、大規模な洪水氾濫が2年続いたことから、洪水の原因と水害対策について現地の大学・研究機関等に属する多くの専門家が新聞に評論を寄せている。まず、洪水原因に関する主な見解を挙げるとつぎのようである。

- 1) 上流域の豪雨(特にインドのアッサム地方)
- 2) 上流域の森林伐採による保水能の減少(特にネパール)
- 3) 2)に伴う土砂流出増による河床上昇(特にブラマプトラ川)
- 4) 上流域の河川改修と堰の建造による洪水の急峻化(特にガンジス川)
- 5) CO₂増大による気温上昇(温室効果)で降水量の増加ならびに氷河の融解促進
- 6) ヒマラヤ氷河の人工融解実験(インドによる石炭粉の散布)
- 7) 1988年8月のインド・ネパールの地震による氷河の移動・融解と天然ダムの形成・決壊
- 8) 三大河川の洪水ピークの合致
- 9) 構造物(道路・鉄道・干拓堤防など)による内水の排除障害
- 10) 大潮と日食の一致(1988年9月11日)による感潮部の排水障害

以上の原因のうち、2)~6)は洪水流量と水害発生の一時的なトレンドに現われると考えられるが、Fig. 7でみる限り近年の流量増、および河床上昇に伴う低流量での水害発生が増大傾向は明らかでない。また、7)は時期的には対応しているが、天然ダムの決壊に伴う水位の急上昇の記録が上流域のハイドログラフに現われていないようであって、この原因も疑わしい。したがって、1)と8)~10)が主な原因と考えられるが、

10)の影響は時間的に短いので、他の三つが重要といえる。2年続きの大洪水は、1954年と1955年にも発生しており、わが国でも山陰水害(昭和39年・40年)、新潟県の加治川水害(昭和41年・42年)、高知水害(昭和50年・51年)など事例が多く、高層気象条件の持続性から究明されうる問題であろう。

一方、洪水災害の防御対策としては、

- 1) 植林と砂防
- 2) 貯水池の建造
- 3) 河道改修(特に主要河川の築堤、浚渫、河岸防護工、分流工)
- 4) 内水位の低下と内水排除(越流堤、ヒューズ堤、鉄道・道路の開口部設置、ポンプ排水など)
- 5) 干拓地の小規模化と堤防・排水施設の維持・管理
- 6) 洪水予知・警報システムの整備
- 7) 洪水危険地図の作成と土地利用規制
- 8) 住宅の耐水化(2階建・ピロティ住宅)
- 9) 洪水時の対応策—特に住居・食糧・水・光熱源の確保(避難所の近設、ボートの設置、幹線道路・電気設備・井戸の嵩上げ)
- 10) 穀物生産の年間サイクルの変革
- 11) 主食の変革(主食を米から麦・ポテトへ)
- 12) 水害保険
- 13) 国際河川対策(流域圏の協議会常設と法の整備、パキスタンのようにインドとの大河川水利権の分割)

など、ハードからソフト対策まで広範な提言が行われている。これらの対策のうち、1)、2)、13)はインド・ネパールなどの上流域の国々の全面的協力を必要とするが、バングラデシュの財政事情など現在の国力では実施が困難であろう。また、11)は生活習慣、12)は被害規模から難しいと考えられるので、結局3)～10)が現実的な方策といえる。しかし、これらの対策を進める上で最も大きな障害となっているのは、財源不足と人口の急激な増加であって、国際的援助の下で抜本的水害対策を強力に推進し、水害・貧困・人口増の悪循環を立ち切るとともに、技術面ならびに経済面の自立を図るために研究協力、産業の育成などの施策を長期的視野から実施する必要がある。

本調査研究の遂行に際しては、国内外の非常に多くの方々に多大なご協力をいただいた。衷心より感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 村本嘉雄(代表):1987年モンスーン季の豪雨によるバングラデシュの洪水氾濫災害の調査研究, 文部省科学研究費・重点領域研究「自然災害」総合研究班, 突発災害調査研究成果, No. B-62-5, 1988.
- 2) Hossain, M., A. T. M. A. Islam and S. K. Saha: Floods in Bangladesh-Recurrent Disasters and People's Survival, Universities Research Centre, Dhaka, Bangladesh, 1987.
- 3) Bangladesh Bureau of Statistics: 1986 Statistical Yearbook of Bangladesh, Government of the People's Republic of Bangladesh, 1986.
- 4) Matsumoto, J.: Synoptic Features of Heavy Monsoon Rainfall in 1987 Related to the Severe Flood in Bangladesh, Bulletin of the Dept. of Geography, Univ. of Tokyo, No. 20, 1987, pp. 43-56.
- 5) Matin, M. A.: Some Aspects of 1987 Flood, Seminar on Floods in Bangladesh, The Institution of Engineers Bangladesh, 1987.
- 6) Matin, M. A.: Hydrological Aspects of 1988 Flood, Seminar on Floods in Bangladesh, The Institution of Engineers Bangladesh, 1988.

- 7) Chowdhury, J. U.: Flood Problem of Bangladesh, Proc. of US-Asia Conference on Engineering for Mitigating Natural Hazards Damage, B-10, 1987.
- 8) 大矢雅彦：ブラマプトラージャムナ川架橋地点選定に関する応用地形学的研究，地理学評論，52-8，1979，pp. 407-425.
- 9) 岡 太郎：バングラデシュ・アトライ川の洪水氾濫解析，第7回日本自然災害学会学術講演会要旨集，1988，pp. 54-55.
- 10) 国際協力事業団：ジャムナ川架橋計画調査報告書(Ⅱ)，1976.
- 11) Ullah, M. H.: Computer Modelling of River Channel Changes in Alluvial Condition, Institute of Flood Control Drainage Research, Bangladesh Univ. of Engineering and Technology, RO/87, 1987.
- 12) BWDB: Statement of Flood Damage and Estimate for Repair, 1987.
- 13) Saddique, A. B. M.: Impact of Flood on the Economy of Bangladesh, Seminar on Floods in Bangladesh, The Institution of Engineers Bangladesh, 1988.
- 14) 国連討議資料抜粋：被害状況，1988.
- 15) UNDRO: Situation Report, No. 1-No. 9 (Fax.), 1988.
- 16) UNDRO: Situation Report, No. 1-No. 12 (Fax.), 1987.

THE 1987 AND 1988 FLOOD DISASTERS IN BANGLADESH

By *Yoshio* MURAMOTO

Synopsis

Bangladesh suffered, sequentially in 1987 and 1988, severe damages caused by the flooding of its three major rivers, the Brahmaputra, Ganges and Meghna, and the stagnation of rainfall in the low-lying areas. About 40 and 84 percent of the whole country were inundated, and 25 and 45 million people were affected, respectively, in 1987 and 1988. Death toll in each year is estimated to be more than 1500.

Based on our field study and data collection in December 1987 and April 1989, we investigated the severe flood disaster from the aspects of meteorology, geomorphology, hydrology, river engineering and sociology in order to contribute to planning the structural and non-structural countermeasures against the flood hazards. This paper summarizes the results of these investigations, and mainly describes characteristics of hydrographs in the major rivers and inundation processes, the river channel process in the Brahmaputra, the damage to water works and living, and the relief and rehabilitation activities during the 1987 and 1988 floods.