

土 木 研 究 所 資 料

ネパールにおける水害の現状
及び氾濫被害軽減対策

平成11年2月

建設省土木研究所
河川部都市河川研究室

Copyright © (1999) by P.W.R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

ネパールにおける水害の現状 及び氾濫被害軽減対策

都市河川研究室 室 長 末次忠司

研究員 小林裕明

要 旨

本報はネパールにおける水害・治水に関する現地調査及び収集した資料等に基づいて、水害・治水対策の現状及び今後のあり方についての分析を行ったものである。特に治水対策については現状の対策、又は策定されている国家行動計画を踏まえて、氾濫原管理の視点からの検討・考察を行った。また、いくつかの対策については、日本で研究されている検討結果も活用してネパールに適切な氾濫被害軽減対策を提案した。

キーワード：ネパール、途上国、水害、治水、氾濫原管理、都市河川

緒 言

著者は1998年12月7日から12月16日にかけて、JICA短期専門家としてネパール治水砂防技術センター（Water Induced Disaster Prevention Technical Centre：以下DPTCと称する）職員に『洪水氾濫危険区域図』作成に関する技術指導を行う機会を得た。技術指導にあたっては、氾濫形態の分類、各種洪水危険地図及び氾濫解析手法の紹介、解析モデルの解説、更に幅広い氾濫原管理の観点から今後のネパールにおける氾濫被害軽減対策についての提言を講義形式で行った。

技術指導のための講義にあたっては、大阪府よりDPTCに派遣している川島伸哉JICA専門家より、ネパールの水害・治水対策の実態に関する各種資料を提供して頂いた他、Bagmati川、Narayani川、Lotha川、East Rapti川、Lakhandal川などの現地の河道及び対策の状況を調査でき、ネパールに適した氾濫被害軽減対策のあり方を提言できた。

本報はこれらの現地調査・資料を整理・分析した結果をとりまとめたものであり、既にとりまとめた土木研究所資料第3596号『開発途上国における都市河川改修計画策定マニュアル（案）¹⁾』とあわせて、今後の開発途上国における治水対策を考えるうえでの参考になると考えている。

目 次

第1章	地形・河道・水文特性	1
第2章	社会・経済特性	7
第3章	災害の現状	9
第4章	1993年7月水害	11
第5章	治水に関連する組織	18
第6章	実施されている治水対策	20
第7章	治水計画	28
第8章	今後の氾濫原管理のあり方	30
第9章	まとめ	36
結語		37
参考文献		38
参考資料		39

第1章 地形・河道・水文特性

ネパールは中国、インドに囲まれた東西方向に長い内陸国で、北海道の約2倍に相当する14.7万km²の国土に約2千万人の人々が生活している。国土はヒマラヤ山脈の南斜面に位置し、国土の大部分が山岳または丘陵地であるが、南部のインドとの国境付近にTeraiと称される低平な平野部を有している。

【地形特性】

ネパールの地形特性としては、図-1のようにおおむね北から南にHigh Himalaya及びHigh Mountains（山岳部）、Middle Mountains及びSiwaliks（丘陵部）、Terai（平野部）に3区分される²⁾。この地形はインド洋から北部のチベット高原に向かってせり上げるヒマラヤ造山運動の結果生じたもので、急峻な地形が多いが、その谷間に盆地が形成され、盆地に沿って東西方向に地質構造線が走っている。ネパール最大の盆地は首都のあるカトマンズ盆地である。

地質は水成岩（水中に堆積した堆積岩）を主体とし、図-2のように北側からヒマラヤ地質群、第三紀漸新世から白亜紀の岩石、Siwalik（洪積世～第三紀）、沖積土群に大別できる。ヒマラヤ地質群からSiwalikに至るまでの地質は斜面崩壊を起こしたり、雨水侵食を受けやすい脆弱な地質であり、土砂生産の発生源となっている³⁾。今回の現地調査の際にも、Hetauda市からNarayani川に向かう途中の道路で、赤茶けた地質の道路法面崩壊による地すべり現場が3箇所見られた。

こうした特性に加えて、森林の樹木密度は低く、下層の灌木が少ない。また表層土壌層が安定しておらず、地質及び貧栄養性に起因して樹木が少なく⁴⁾、これに加えて放牧されたやぎが草や新芽を食べるために、山地部は写真-1のように、緑がまばらな所も多い。こうした特性も地質条件と相まって斜面崩壊に影響を与えている。

【河道特性】

図-3にネパールにおける主要な河川を示した。河川を流域面積の大きな順に示せば、表-1のように、

表-1 主要な河川の諸元一覧表

No.	河川名	流域面積 (km ²)	流路延長 (km)	水源
1	Sapta Koshi川	60,400 (27,784)	534 (187)	チベット高原
2	Karnali川	44,000 (41,360)	550 (435)	〃
3	Narayani川	34,960 (31,114)	451 (451)	〃
4	Mahakali川	15,260 (5,188)	223 (223)	〃
5	West Rapti川	6,215 (6,215)	257 (257)	ネパール国内
6	Bagmati川	3,681 (3,681)	163 (163)	〃
7	Babai川	3,252 (3,252)	190 (190)	〃

注) 流域面積及び流路延長の欄の () 内の数字はネパール国内の値である
出典) DHM/JICA: The Study on Nationwide Hydro-Meteorological Data Improvement Project Final Report、1993

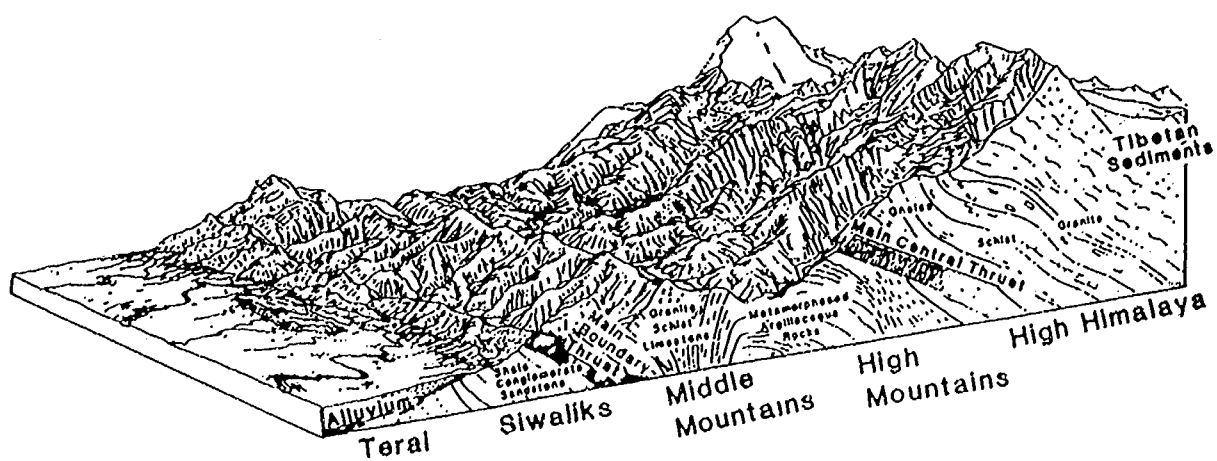


図-1 ネパールの地形区分図

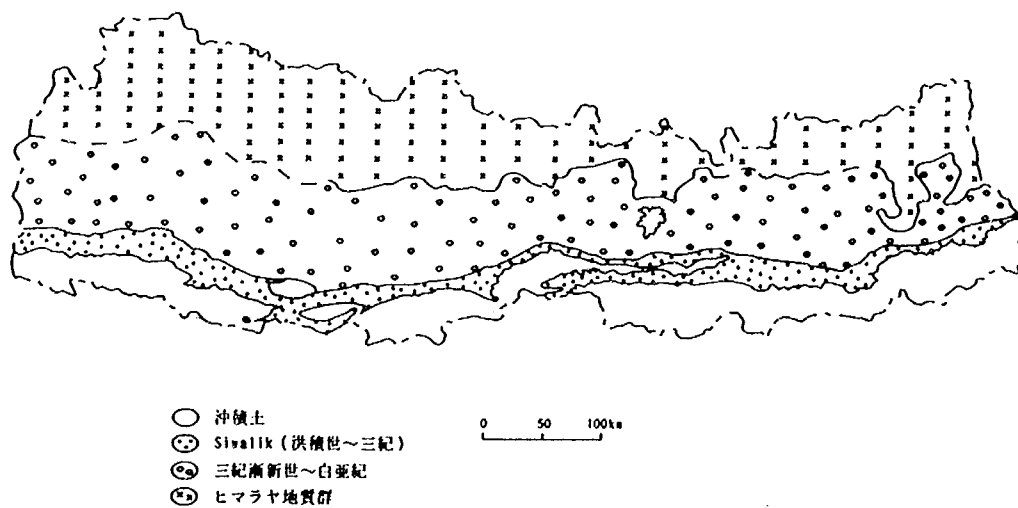


図-2 ネパールの地質図

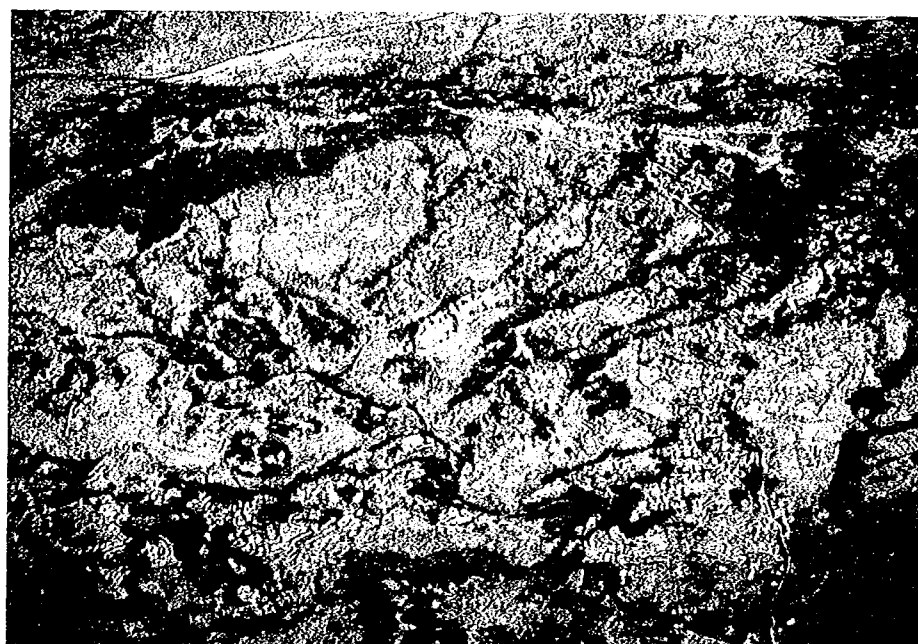
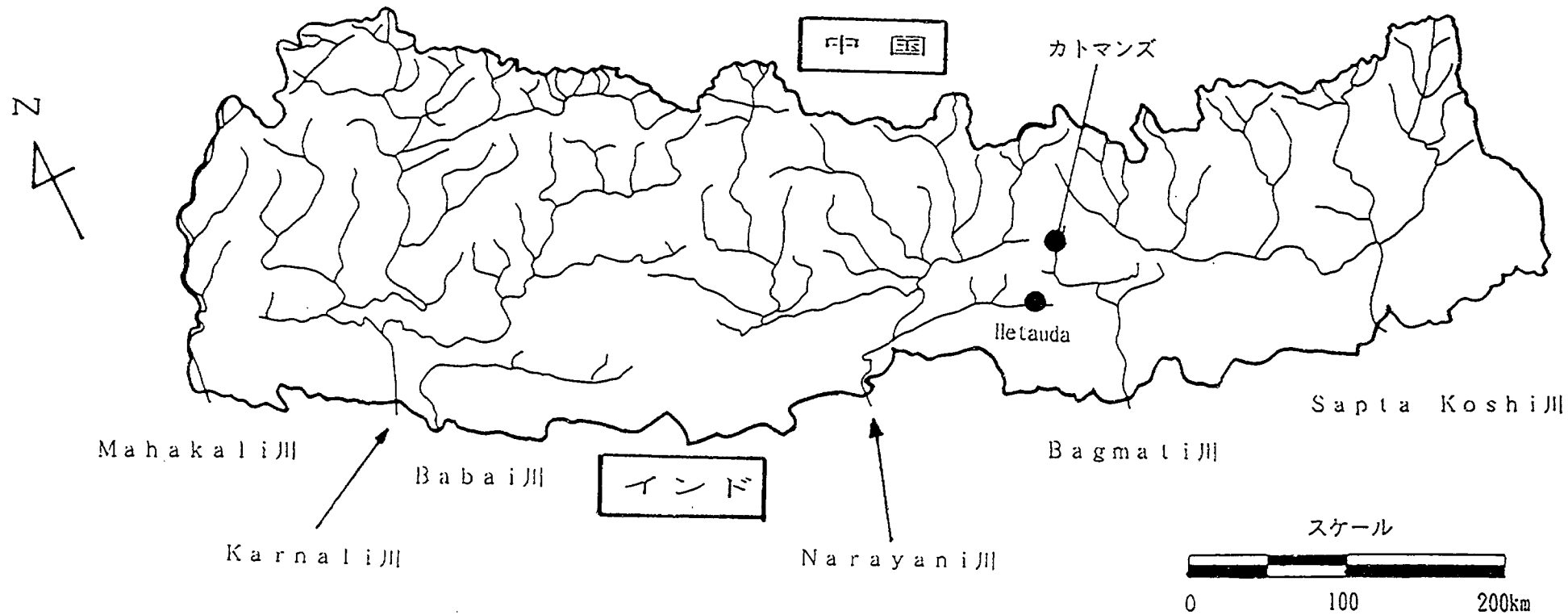


写真-1 山地部における植生の状況



図－3 ネパールの主要河川図

東端を流下するSapta Koshi川が60,400km²と最も流域面積が大きく、利根川の約4倍である。ネパール国土内で見れば、流域面積はKarnali川が41,360km²と最も大きい。いずれの河川も中国、インド、バングラデシュなどにまたがる国際河川であるため、防災対策や水資源開発事業を実施する場合、他国との調整が必要となる他、他国の水文・災害情報の収集が重要となる。

河道特性としては、河床勾配が上中流域で急勾配であるのに対して、下流部のTerai地方が緩勾配である。Bagmati川を例にとれば、図-4のように、Middle Mountainまでが約1/50と河床勾配がきつく、Siwalikでは約1/500、Teraiでは約1/1700となっている。河床勾配の変化に対応して、川幅もTeraiではその上流域の5～20倍と急拡している⁶⁾。ただ、日本のように緩勾配になる上流側での扇状地は見られない。またSiwalikはヒマラヤ造山運動に伴う盆地帯であり、地質構造線が走っている。ここでの河道はU字型の横断形状で、東西方向に流れ、Teraiに入る前で南北方向に流向を変える。緩勾配のTerai地方では、土砂堆積の影響もあって、河道が移動しやすく、農地の侵食被害を起こしている。

ネパールでは平地面積が狭いこともあって、斜面が段々畑に利用されたり、放牧されたやぎが新芽や草を食べるために、山地や丘陵地の植生が貧弱であり、山地部には多数のガリ侵食が見られる(写真-2)。そして、崖崩れなどの斜面崩壊により、大量の土砂(土石)が発生し、河道へと流入する。Labonの調査結果⁶⁾によると、多くの河川で土砂輸送が激しく、比輸送量は日本の河川より1桁大きいと、河床は上昇傾向にあり、特にKarnali川、Sapta Koshi川支川のTamar川における土砂輸送が激しい(表-2)。

Bagmati川も基本的には土砂輸送量が多いが、例えば沿川のカトマンズ市内では土地利用のために河道が埋め立てられ断面が縮小されたり、河岸が粘着力のない礫で構成されているため、側岸侵食及び縦侵食が発生するなど、河床は低下傾向にある。因みにカトマンズ盆地はかつて湖であったため、湖沼堆積物が基盤にあり、流水に対する抵抗力が小さく、元々河岸侵食が多発し、河道は不安定であった。

表-2 河川毎の土砂輸送量の比較

河川名	流域面積 (km ²)	輸送土砂量 (×10 ⁶ m ³ /年)	比輸送量 (m ³ /km ² /年)
Karnali	42,890	220.0	5,129
Arun	36,533	34.6	947
Sunkoshi	19,230	54.2	2,819
Tamar	5,900	29.6	5,017
Trishuli	4,110	7.61	1,851
Bagmati	585	2.66	4,547

出典) Labon: Field Bagmati River Erosion and Sedimentation in Nepal (1978) ⁶⁾

【水文特性】

水文特性としては、6月から10月にかけて雨期となり、特に7、8月に洪水が多く(約7割)発生している。国土全体の年平均降水量は1500mmで日本とそれほど変わらないが、国土中央部で4500mm、東部で4000mm、カトマンズ北東部で3500mmと局所的に降雨の多い地域がある(図-5)。洪水を発生させる原因は集中豪雨

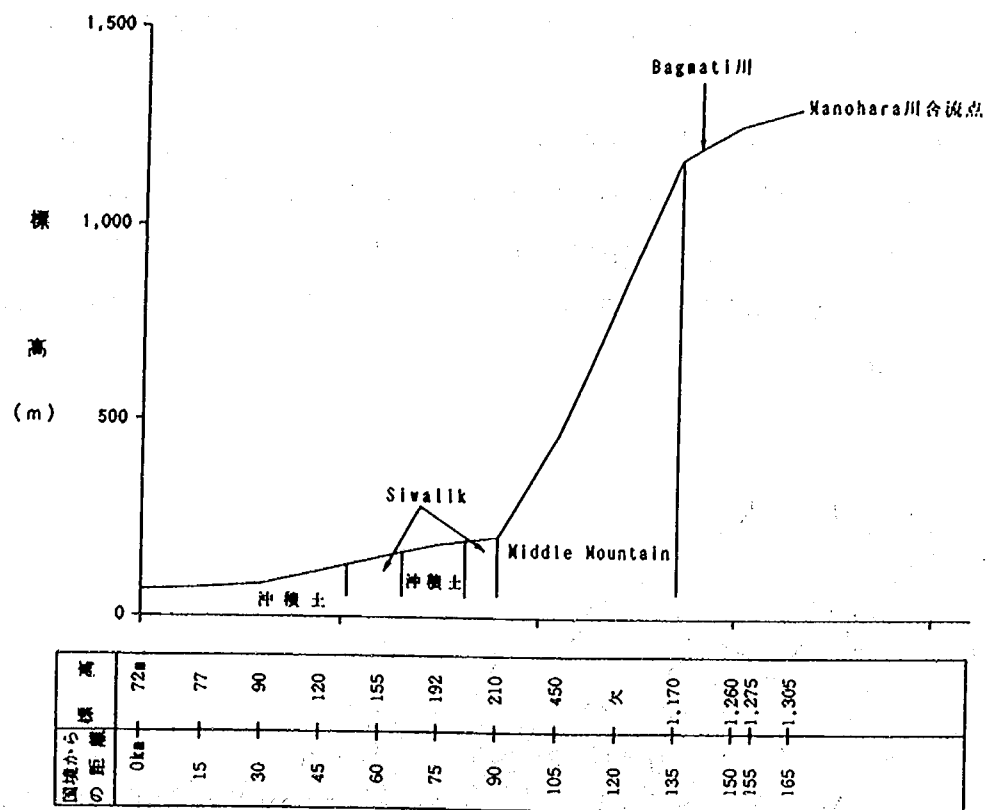


図-4 Bagmati川河床縦断面図

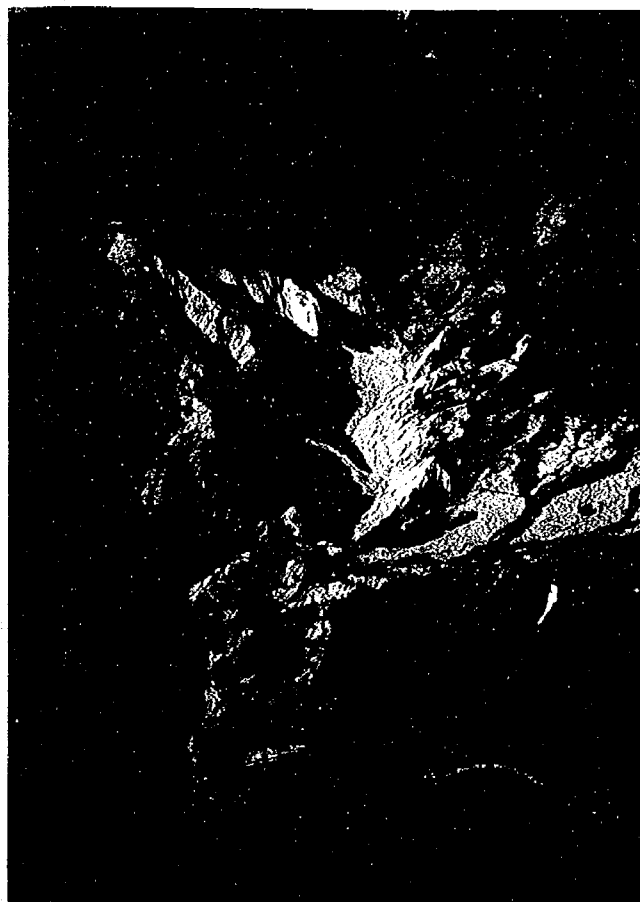


写真-2 山地部で多数見られるガリ侵食

である。また、雨期と乾期の違いは、乾期には河川水がなくなるほど、河川流量の季節差が大きいことである。

1993年7月水害時には、Makwanpur県のTistungにおいて、540mmという猛烈な最大24時間雨量（7月19日9時～7月20日9時）が記録された。一方7月17日～23日の期間中にSimraで228mm（266mm）の最大24時間雨量（総雨量）が観測され、また8月7日～13日にはBiratnagarで114mm（263mm）、Pokharaで96mm（285mm）の最大24時間雨量（総雨量）が観測された。豪雨の発生に伴い、Bagmati川のPandheradobhanでは7月20日深夜に16,000m³/sのピーク流量を記録した。

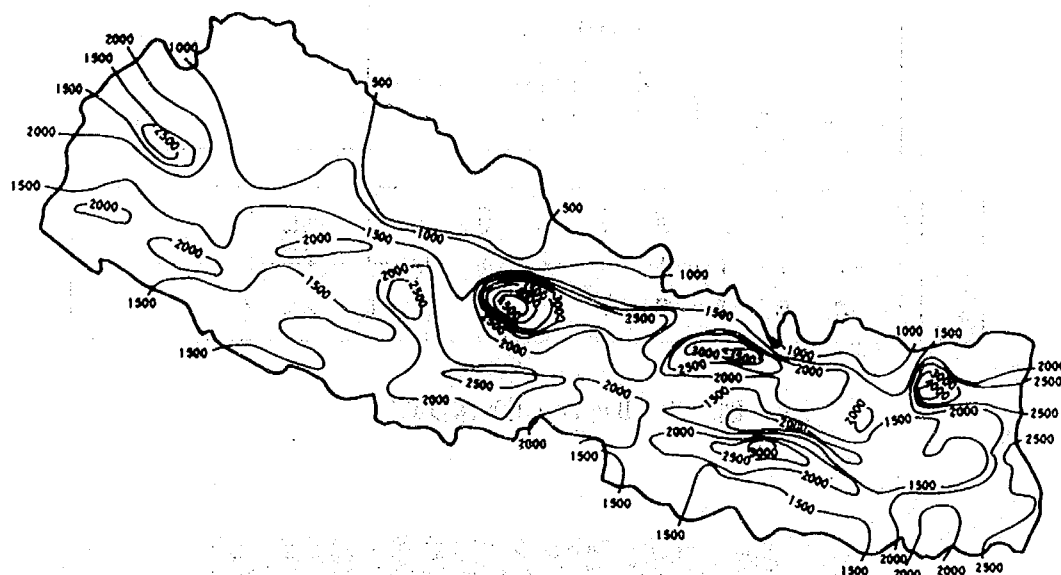


図-5 ネパール年間降水量（mm）（by G. R. Joshi）

第2章 社会・経済特性

【社会特性】

面積は地形区分で見ると丘陵部、山岳部、Teraiの順に広いが、人口の大部分は丘陵部とTeraiに集まっている。山岳部及び丘陵部は、既に標高2000m級の山地斜面まで農耕地に利用され、特に近年平野部に位置するTerai地方への人口集中が進んでおり、Teraiの人口密度（253人/km²）は全国土の人口密度の約2倍と集積度が高く、水害によるダメージポテンシャルが増大する傾向にある。一方、ネパールの首都カトマンズは国土の中央部よりやや東寄りに位置するが、人口は約170万人と集積度が高く、全人口の約1割を占めている。

表-3 地形別に見た面積、人口分布

	面積 (km ²)	人口 (万人)	人口密度 (人/km ²)
山岳部	51,810 (35.2%)	144 (7.8%)	28
丘陵部	61,230 (41.6%)	841 (45.5%)	137
Terai	34,140 (23.2%)	864 (46.7%)	253
合 計	147,180	1,849	126

注) 人口は1991年時点の値である

ネパールは正式にはネパール王国であり、国王（元首）を『国家及び国民統合の象徴』とする立憲君主制の国である。国の行政は全国75県に分かれ、日本以上に細分化された地方自治体が存在している多民族・多言語国家である。しかし、基本的な予算裁量権は国にあり、地方自治体に事業実施権は付与されていないとのことである。なお、数多くの民族は地形区分にほぼ類似した分布をしている。

また、ネパールは全人口の87%がヒンズー教徒であるため、特徴的な社会特性としてカースト制度がある。一般的にはカースト制度では階級はブラーマン（僧侶）、クシャトリヤ（戦士）、バイシャ（商人、職人、庶民）、シュードラ（隷属民）に4分類されるが、更に下の階級としてアウト（外部）カーストがいる。彼らは日常生活だけでなく、災害後の救援物資の配給等にも厳しい差別が行われている。現在カーストは解体過程にあるが、依然として残っている。なお、階級は結婚により上位カーストへの移動が可能となっている。

全国民の約半数の母語がネパール語であるが、学校では英語のテキストを使用しており、英語能力が高い人も多い。しかし、地方では児童も労働力として期待されており、教育水準は必ずしも高くなく、全国民の識字率は33%と低水準である。最近では家族計画の推奨により、全国的に見て少子化の傾向にある。

【経済特性】

ネパールのもっとも大きな特徴は経済力の弱さである。1人あたりのGNP（国民総生産）は約200米ドル（1996年世銀アトラス）で、後発開発途上国（LLDC）の中でも最低レベルに属する。GDP（国内総生産）

*Terai地方は元々亜熱帯ジャングルであったが、1960年代以降にマラリヤ撲滅のために、森林が伐開された後開拓が進み、居住が奨励されたこともあって、米作などの一大穀倉地帯になるとともに、人口・産業の集積が進んでいる。

はここ10年平均で約5%の伸び率（対前年比）であるが、人口も年平均で約3%伸びているため、1人あたりのGNPは増えていない。一方、1994年11月に成立したネパール統一共産党は政策基盤の弱さを反映した安易な人気取り政策とも言える『ばらまき型歳出拡大予算』をとるなど、経済的に不安定な要素を含んでいる。更に開発事業を実施、管理、評価する体制が脆弱なため、限られた国内資源や外国援助を有効に活用できていないのが現状である。

GDPの4割強は農業（約8割の国民が従事）が占めているが、灌漑設備が未整備であるために、収穫が天候に左右される状況にある。非農業セクターでは、カーペット及び既製服産業により高い成長をとげていたが、近年ネパールでの児童就労や有害染料の使用等が輸出先のドイツで問題視され始めたこと、米国の対インド既製服輸入割当が拡大したために、ネパールで既製服生産を行っていたインドの製造会社がインドに戻ったこと、等により生産が頭打ちとなっている。他方、観光業は好調で、関連する都市部の旅行会社、ホテル、高級輸入品を取り扱うスーパー等は経済的に成長している。

なお、日本はネパールにおける最大の援助国であり、1994年度には無償援助及び技術協力をあわせて、約110億円相当の支援を行っている。1969年以降の累積額で見れば、約1,740億円相当の援助を行っており、その内訳は社会セクター、経済インフラ、農業分野に各々1/3づつとなっている。JICAからの技術協力のなかに、プロジェクト方式の技術協力があり、1991年10月に開始された『ネパール治水砂防技術センター』もその一つである。このプロジェクトは1999年3月に終了する予定であり、その時点で現在日本より派遣されている4名の専門家及び1名のJICA調整員は基本的に日本へ帰国し、その後は第2フェイズとして、ネパール人スタッフにより活動が運営されることとなっている。

第3章 災害の現状

ネパールでは日本と同じく様々な自然災害が発生しているが、発生頻度が高いのは洪水、地すべり、渇水被害である。主要災害に関しては1963年以降、Nepal Red Crossがデータ収集を行っていたが、以下に示すデータはMinistry of Home（内務省）が集計したものである。1992年以降はDPTCも災害調査を行っており、1992年から"Annual Disaster Review"を、また1995年からは"Disaster Review"と改題したレポートを毎年発行している。

過去15年間における災害による死者数を示せば、表－4のようになる。疫病を除くと、全体の約7割が洪水・地すべりにより死亡している。洪水・地すべりによる死者数は年平均で344名であり、日本の昭和30年代後半から40年代前半にかけての死者数相当である。特に1,316名が死亡した1993年にはもっとも規模が大きな7月水害が発生した。この年の洪水・地すべりによる被災家畜数は圧倒的に過去最高である。他の災害では、疫病による死亡がもっとも多く、これは洪水などに伴うものではなく、コレラなどの病気によるものである。また1988年に西部・中央地域で発生した地震では721名が死亡し、被災家屋数は約11万戸と、全災害のなかで過去最高を記録している。なお、表中の『その他』の災害とは地震、土石流などによる被害を表しており、渇水被害（干ばつ）は自然災害には計上されていない。

一方、洪水・地すべりによる被害状況は表－5に示す通り、Sarlahi県、Makwanpur県、Rautahat県において大きな氾濫被害が生じた1993年が最も被害が大きい。しかし、被害額だけは東南地域のJhapa県、Morang県で水害が発生した1996年が大きくなっている。この2地域の被害額シェアだけで、全体の約9割を占めている。なお、1993年水害で見ると死者数の約7割は洪水により発生している。

表－4 災害による死者数

西暦 災害名	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
疫 病	217	521	915	1101	426	0	879	503	725	1128	100	626
洪水・地すべり	293	363	420	315	391	328	680	307	93	71	1316	49
火 災	69	57	52	96	62	23	109	46	90	97	43	43
その他	—	—	—	—	—	806	48	57	63	22	53	47
合 計	579	941	1387	1512	879	1157	1716	913	971	1318	1512	765

西暦 災害名	1995	1996	1997	年平均	最大（発生年）
疫 病	520	486	947	606	1128（1992年）
洪水・地すべり	203	258	78	344	1316（1993年）
火 災	73	61	45	64	109（1989年）
その他	77	135	53	91	806（1988年）
合 計	873	940	1123	1106	1716（1989年）

注）文献7）に基づいて、著者が作成

表-5 洪水・地すべりによる被災状況^{a)}

西暦 項目	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
死者数(人)	293	363	420	315	391	328	680	307	93
全壊・部分損壊 家屋数(戸)	—	7,566	4,620	3,035	33,721	2,396	6,024	3,060	817
被害額: 名目 (百万NRs)	240	37	58	16	2,000	1,087	2,505	44	21

西暦 項目	1992	1993	1994	1995	1996	1997	年平均	最大(発生年)
死者数(人)	71	1,316	49	203	258	78	344	1,316 (1993)
全壊・部分損壊 家屋数(戸)	96	40,143	985	20,980	28,429	1,790	10,976	40,143 (1993)
被害額: 名目 (百万NRs)	11	4,904	59	1,419	11,859	95	1,624	11,859 (1996)

注) 1 NR s (ネパール・ルピー) ≒ 2 円

第4章 1993年7月水害

近年でもっとも大きな水害となった1993年7月水害の状況を見てみる。

1993年7月、カトマンズ南西部で約600mm/3日の集中豪雨を記録した他、Makwanpur県のTistungでは540mmの最大24時間雨量（7月19日9時～20日9時）を観測した。一方7月17日～23日の期間中にSimraで228mm（266mm）の最大24時間雨量（総雨量）が観測され、また8月7日～13日にはBiratnagarで114mm（263mm）、Pokharaで96mm（285mm）の最大24時間雨量（総雨量）が観測された。この豪雨の発生に伴って、Bagmati川のPandheradobhanでは7月20日深夜に16,000m³/sのピーク流量を記録した（総ボリューム11億m³）。

その結果各地で崖崩れ、土石流、洪水氾濫により多数の死者、被災家屋が発生するとともに道路、橋梁、発電所、堰などの重要なインフラ施設に多大な被害が発生した。The Kathmandu Post News Data⁹⁾によれば、ネパール全土では死者・行方不明者数1,460名、被災者数496,334名、全壊家屋18,322戸、部分損壊家屋20,711戸、流失した土地433km²、被害額約47億NRsとなった。

被災状況を県別に見れば、Sarlahi県、Makwanpur県、Rautahat県の被害が大きい（表-6）。表の総計欄に示した3県の被害シェアを見ると、死者・行方不明及び土地の流失がこれらの地域に集中していることが分かる。特にSarlahi県の被害が大きく、死者数及び全壊・部分損壊家屋数の約半分を占めている。

また、図-6～9に県別及び項目別の水害発生状況を示す。前述した3県以外では、死者・行方不明者数はSindhuli県、被災家屋数はChitawan県、Sindhuli県、Dhanusha県、Kabhre県で大きな被害となっている他、Dhanusha県、Parsa県、Okaldhunga県において多額の被害額が発生している。なお、図-6中の番号は以下の県の所在地を表している。

①Chitawan	⑦Rautahat	⑬Dhanusha
②Dhadin	⑧Sarlahi	⑭Siraha
③Parsa	⑨Sindhuli	⑮Taplejung
④Makwanpur	⑩Okaldhunga	⑯Pachtar
⑤Kabhre	⑪Khotang	⑰Doti
⑥Bara	⑫Mahottari	

表-6 1993年水害の状況（被災規模の大きな県）

県	項目	死者・行方不明者数	被災者数	全壊家屋数（戸）	部分損壊家屋数	流失面積（km ² ）	被害額（百万NRs）
Sarlahi		743	83,265	7,539	9,169	260	1,119
Makwanpur		249	101,482	1,131	1,879	47	1,199
Rautahat		226	89,146	1,976	4,441	14	900
総計（シェア）		1,460（83%）	496,334（55%）	18,322（58%）	20,711（75%）	433（74%）	4,720（68%）

出典）The Kathmandu Post News Dataに基づき、著者が作成

4

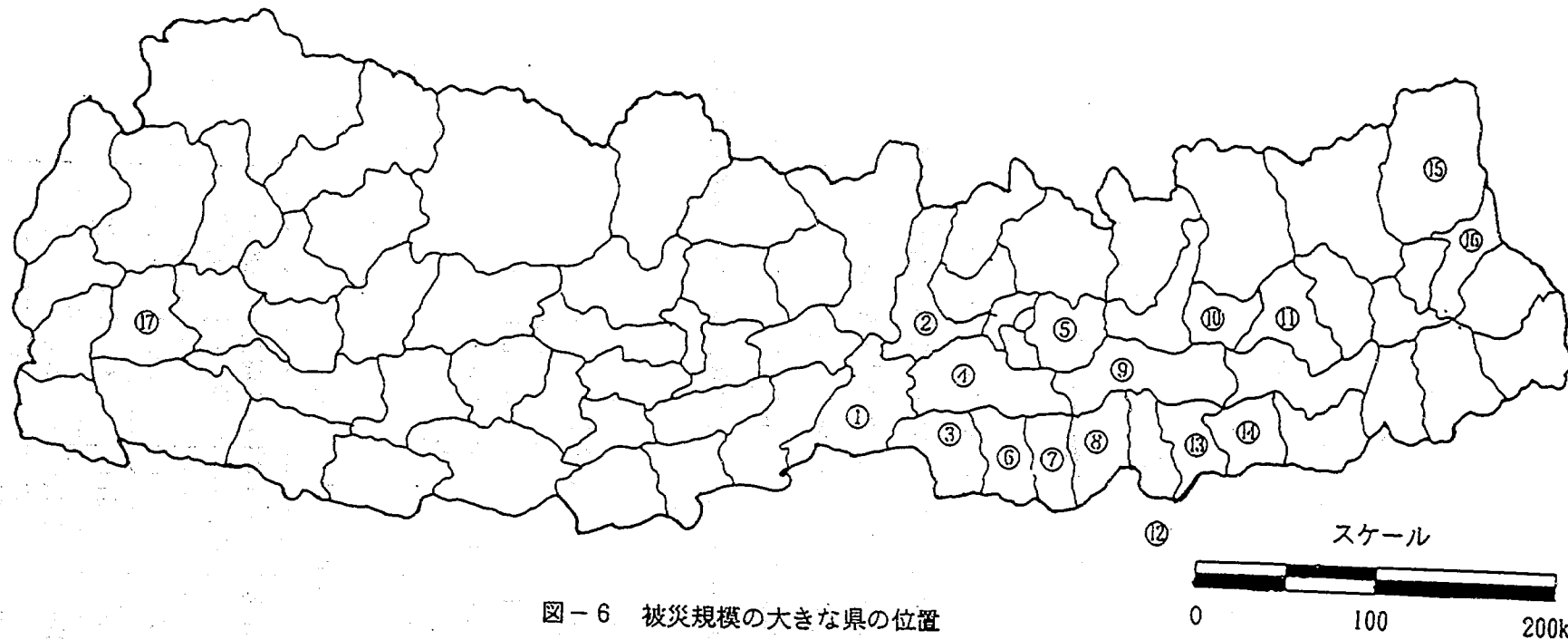


図-6 被災規模の大きな県の位置

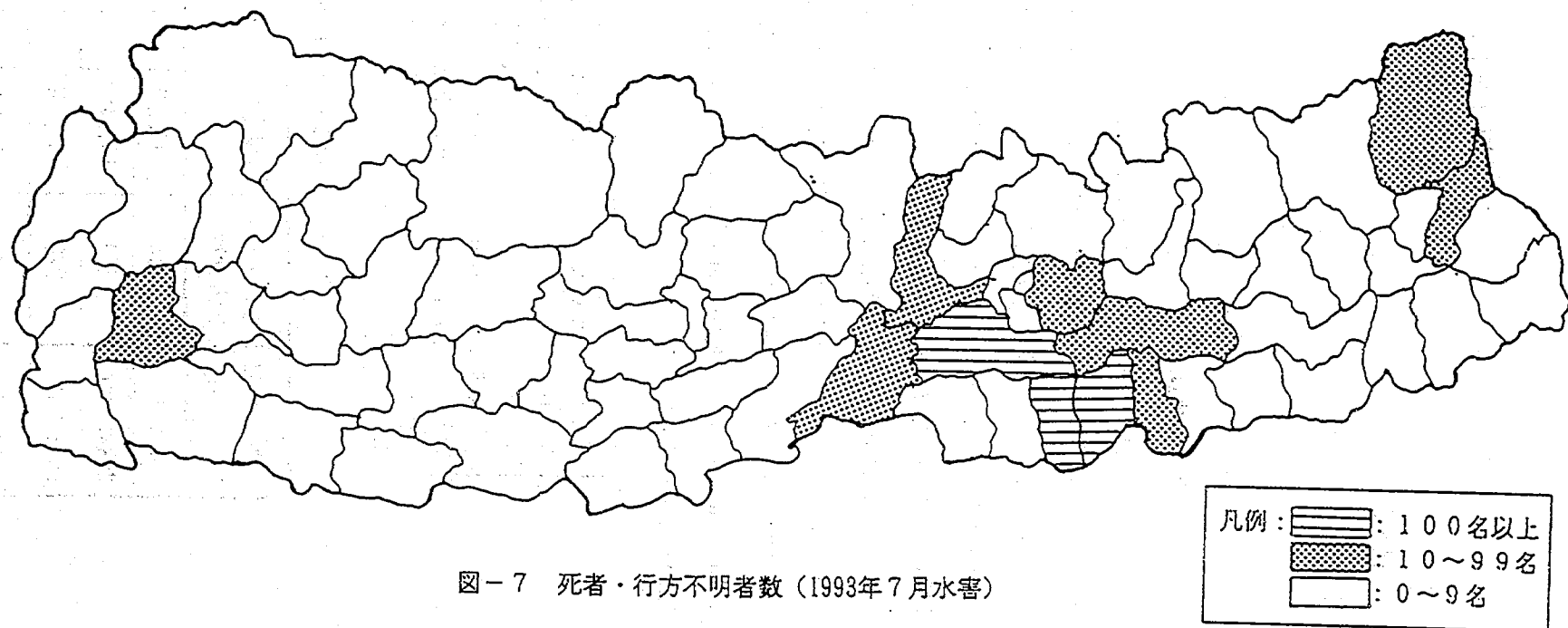


図-7 死者・行方不明者数（1993年7月水害）

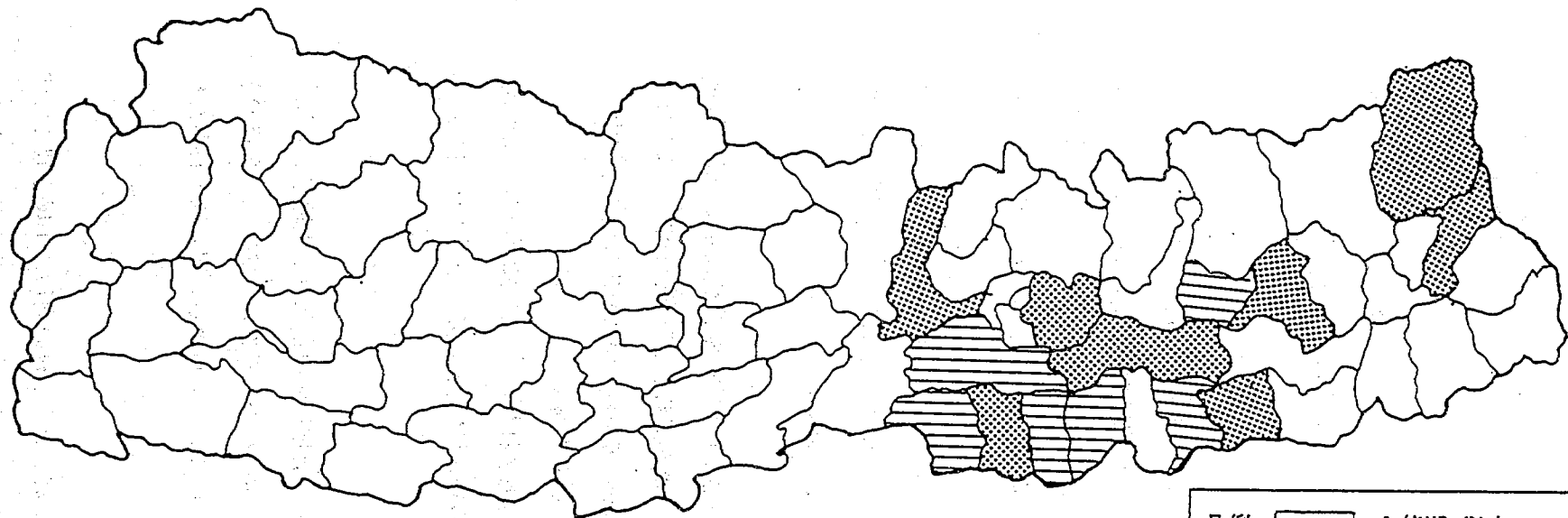


図-8 水害被害額（1993年7月水害）

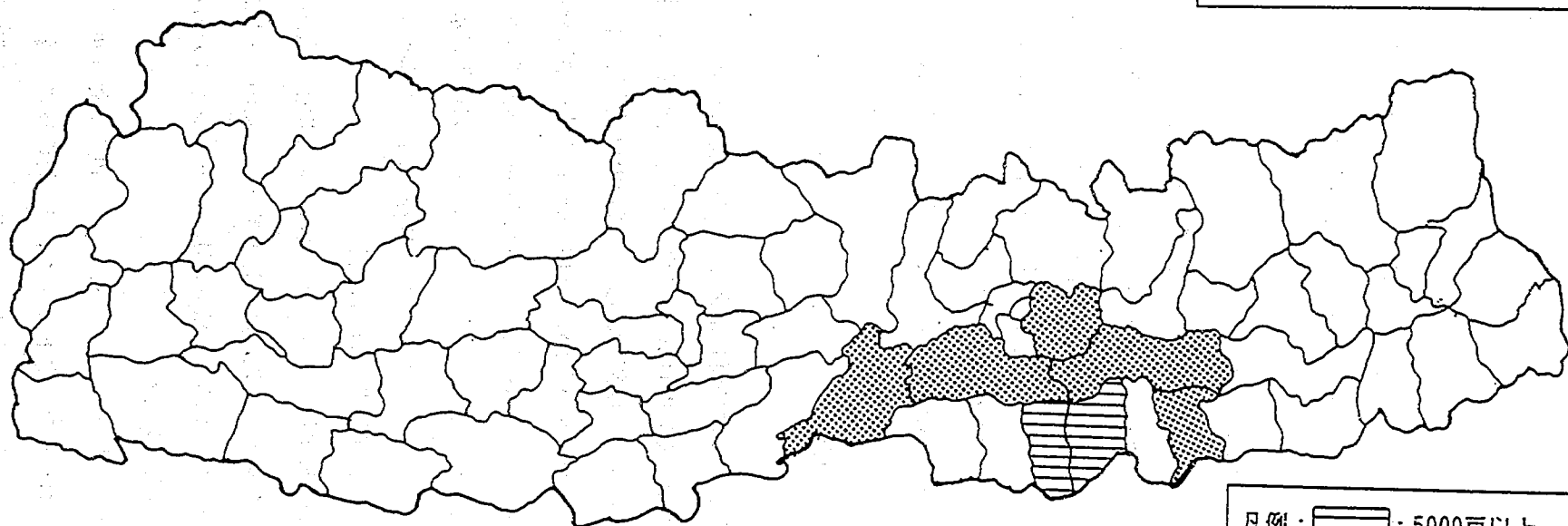
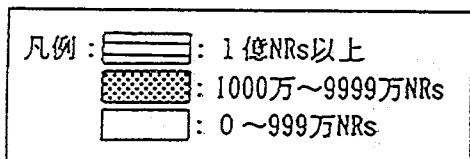
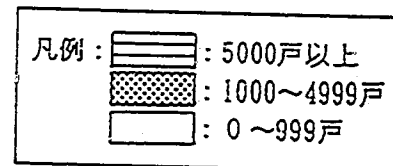


図-9 全壊・部分損壊家屋数（1993年7月水害）



1993年7月水害では、上中流域において土石流や地すべり災害が発生し、下流域では土石を伴った洪水氾濫被害や河岸侵食が発生した。また、多くの浸水地域において土砂堆積が発生した。洪水のピーク発生時刻が深夜だったことも被害を大きくした一因である。この水害時に見られたいくつかの特徴的な被災事例を以下で見てみる¹⁰⁾。

・土石流氾濫

各地で土砂を伴った洪水氾濫が見られたが、特に上流域では大量の土石による土石流被害が発生した。写真-3はPalung Khola川支川のGharti Khola川で発生した土石流災害で、写真中央のPalung高校及び野菜集荷センターを覆いつくすように、土砂が堆積している。

・土砂を伴う洪水氾濫

Bagmati川下流域では広い範囲で氾濫被害が発生したが、特にBagmati川取水堰（1993年完成）から伸びる幹線灌漑水路沿いの集落に被害が発生した。この現象は水路により氾濫水が広い範囲に伝播する場合があることを示している。氾濫水には細粒の土砂以外に土石も含まれており、氾濫水の流体力と土石により家屋が損壊している（写真-4）。被災状況を水資源省灌漑局事務所付近の様子で見ると、シルト状の土砂及び礫が堆積している状況が分かる（写真-5）。

一方、氾濫被害は低平地だけでなく、段丘地形においても発生した。段丘地形における被害状況としては、Makwanpur県のナムタル村にあるナムタル・バザールは、河床から約10mの高さの河岸段丘上に位置していたが、洪水に含まれた大量の土石が川を埋めたために、浸水位が上昇し、村を浸水させたのである。

・河岸侵食

特異な地形、脆弱な地質に加えて河道は河床高が高く、河岸侵食を起こしやすい条件を備えている。写真-6はJogimara近くのPrithviハイウェイの被災状況で、斜面からは土塊が崩落し、Trisuli川からは河岸侵食を受け、通行不能の状態である。派遣時の現地調査の際にも、Hetauda市からNarayani川に向かう途中で3箇所の地すべり現場を見たが、やはり崩壊しやすい地質特性を有していると言える。

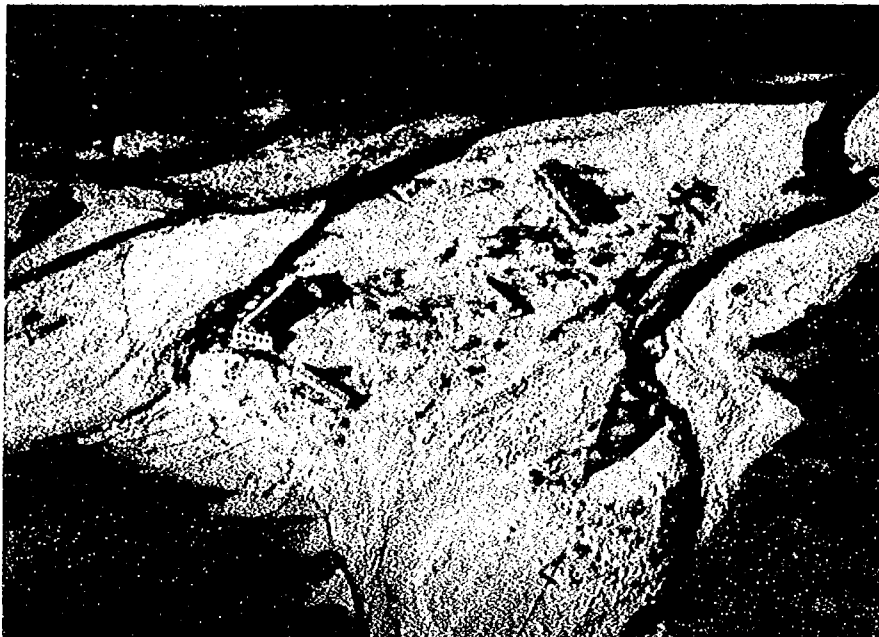
水害後、DPTCの大井氏らにより、被災者へのインタビューが実施された。その記録はネパール治水砂防技術交流会より『被災地の人々 ネパール1993年7月水害被災者の証言¹¹⁾』として、発刊されている。ここでは、参考となるインタビュー内容の概要を以下に示す。

・デンカ・ラヤ氏（35歳：Sarlahi県）

17アールの自作農であったが、洪水により川幅が広がったために、農地は河原となり、土地なし農民となった。土地を失った後は農業労働をはじめたが、家族は養えず、水牛を売って食いつないだ。2年で水牛も売りつくしたため、出稼ぎに出て、リキシャ（人力車）の仕事についた。しかし、稼ぎは1日あたり10円から400円であった。

・シャンティ・デビ・パスワンさん（推定50歳：Sarlahi県）

彼女は土地なしのアウトカーストで、村の中に家を建てるのが許されず、村の周辺に小屋を建てて住んでいた。家は竹で骨格を組み、ラリコールという草で囲み、その表面を土と藁屑、牛糞を混ぜたものを塗っただけの作りであった。洪水が発生すると、家及び家財は跡形もなく、流されてしまった。洪水から8日後に救援物資が届き、被災者への配給が始まった。しかし、アウトカーストの彼女達には何の情報も



写真－3 Gharti Khola川からの土石流氾濫
土石流はPalung高校及び野菜集荷センターを土砂で
覆いつくした



写真－4 Bagmati川流域の家屋被災状況
多くの家屋が氾濫水と土石により損壊した



写真-5 Bagmati川灌漑プロジェクトセンターにおける
氾濫の様子

Bagmati川取水堰からの幹線灌漑水路により広範囲に
浸水被害が発生



写真-6 Trisuli川氾濫によるPrithviハイウェイ
(Jogimara) の被災

山（斜面崩壊）と川（側岸侵食）の両方から被害
を受けている

与えられず、近寄っていても、無視され結局何一つ手にすることができなかった。インドの実家や親戚が見舞いに来て、食料を持ってきてくれたので、一家はなんとか生きのびた。水害後、家を修復しようと、森の中に資材となるラリコールや竹をとりに行こうとしたところ、政府が不法伐採を取り締まることになり、十分な資材が調達できなかった。

・ロク・ラージ・シルワル（40歳：Chitawan県）

ジャングルに覆われていたChitawan県は、1950年代のDDT散布によるマラリヤ撲滅計画が成功した後、山岳部からの移住が奨励され、開拓が進められた。彼も母親と一緒に叔父の家目指して、移住してきた。1993年の水害の時には川から魚の腐った様な悪臭が漂ってきて、彼の住んでいた頑丈な家には隣人3人が逃げ込んできたほどであった。ラジオではいつものように、悲しい民族音楽が流れていた。しかし、この時、既に上流域では何時間も豪雨が続いていたというのに、何故ラジオが情報を流さなかったのか。ラジオがちゃんと情報を流していれば、早めに避難することもできたのに……。

第5章 治水に関連する組織

ネパールにおいては、治水及び防災対策に20以上の様々な組織が関与している。内務省が作成した『災害管理のための国家行動計画¹²⁾』に記載されている防災機関を示せば、以下の通りである。なお()内は組織の略称である。

<上位機関>

- Ministry of Defence
- Ministry of Education and Culture (MOEC)
- Ministry of Finance (MOF)
- Ministry of Foreign Affairs (MOFA)
- Ministry of Forest and Soil Conservation (MOFSC)
- Ministry of Home (MOH)

- Ministry of Housing and Physical Planning (MHPP)
- Ministry of Industry (MOI)

- Ministry of Information and Communication (MOIC)
- Ministry of Science and Technology

- Ministry of Water Resources (MOWR)

- Ministry of Works and Transport

- その他の機関
 - National Planning Commission (NPC)
 - National Cadet Corps (NCC)
 - Social Welfare Council (SWC)
 - Tribhuvan Univ. (TU)
 - International Non-Government Organization (INGO)

<下位機関>

- Royal Nepal Army (RNA)

- Department of Soil Conservation (DOSC)
- Central Disaster Relief Committee (CDRC)
- District Disaster Relief Committee (DDRC)

- Department of Mines and Geology (DMG)
- Federation of Nepal Chamber of Commerce and Industry (FNCCI)

- Department of Hydrology and Meteorology (DHM)
- Department of Irrigation (DOI)
- Water Induced Disaster Prevention Technical Centre (DPTC)
- Department of Roads (DOR)

これらの組織のうち、治水に直接関係する主要な組織としては、上流域から見て

- 森林・土壌保全省土壌保全局→砂防
- 公共事業運輸省道路局→地すべり
- 水資源省灌漑局→河川

などがある。DPTCにはこれら3組織から職員が派遣されている。

治水対策の中心となっているのは、水資源省である。水資源省には灌漑局と水文気象局がある。灌漑局は更にPlanning, Design & Evaluation課、Surface Irrigation課、Ground Water課、Irrigation Management課、River Training, Environment & Mechanical課からなっている。また、水文気象局はCo-ordination課、Climatology課、Hydrology課、Meteorology and Weather Forecasting課からなっている。このなかで、直接河川に関係するセクションは少なく、また、河川の管理及び治水対策は他の開発途上国同様、農業のための灌漑に重点を置いた施策であり、防災といっても農地の侵食防止といった観点からの対策が主である。

今回著者が技術指導を行ったDPTC（写真－7）は前述した3機関から派遣されたスタッフがいる総勢約30名の組織で、縦割りの行政組織を越えた横断的な職員構成であり、組織の枠を越えた施策の提案組織としては、最適である。DPTCはネパールにおける災害対策の強化を図る目的で、JICAのプロジェクト方式技術協力として、1991年にネパール水資源省の中の組織として、首都カトマンズに暫定的に設立された。1999年3月にはプロジェクト期間が終了し、基本的に5名の日本人スタッフは帰国する予定である。DPTCでは技術者の養成、適正技術の開発、災害情報のデータベース化などを行っており、ネパール人職員の他、5名の日本人スタッフ（チーフアドバイザー、JICA調整員、3名のJICA専門家）が常駐している。DPTCは所長の下、総務課、技術開発課（河川担当）、研修課（砂防）、情報課（地すべり）が業務を分担している。

なお、DPTC職員に対しては、主として講義形式で技術指導を行ったが、講義内容の主要な項目は以下の通りである。

- ・地形特性から見た氾濫形態の分類
- ・氾濫原管理手法
- ・流出抑制のための貯留・浸透施設
- ・水防活動
- ・氾濫流制御手法
- ・各種洪水危険地図
- ・氾濫解析モデル
- ・氾濫計算テクニック
- ・ハザード・シミュレータ（ビデオ）



写真－7 DPTCの庁舎（カトマンズ）

第6章 実施されている治水対策

ネパールにおいては、財政的な制約も多く、これまであまり治水対策は行われてこなかった。しかし、現地調査などの折りにいくつかの対策箇所を見ることができた。本章ではこれまでに行われてきた治水対策の一部について紹介を行い、今後のあり方へと結実させていきたい。

【ハード対策】

ほとんどの河道区間は無堤で、基本的には掘込河道となっている。これに対して、1993年7月水害で大きな被害が発生したEast Rapti川及びその支川のLotha川（Chitawan県）では水害後、世界銀行の融資によって、高さ7～8m、延長22kmの連続堤が2年がかりで完成された。表法には石積み護岸、水制が配置されている（写真－8）。

また、橋梁付近には洪水による取り付け部の流失防止のために、両岸に護岸が建設されている。護岸は石積み護岸よりも、鉄線で巻いた蛇籠やふとん籠が多用されている（写真－9）。通常河積を絞る（橋梁区間を狭くするため？）形式で橋梁が架設され、中小河川では護岸が設置された堤防が上下流でラップ状に広がる形となっている。

河川によっては、水制群により河道の側岸侵食対策を実施している場合がある。写真－10はもっとも大きな流域面積を有するSapta Koshi川のSunsari地区に設けられた水制群で、水制により側岸が守られ、安定な河道が保たれている様子が伺える。今回訪問したDPTCの水理実験場においても、水制群の実験が行われていた。

中上流域には急激な土砂の流出を抑えるために、床止めが建設されている箇所もあるが、数は少ないようである。斜面からの土砂の流出抑制にはふとん籠がよく用いられている。一方、地すべり対策としては、ふとん籠や表面排水工が採用されている。支川を含む河道に堆積している土石の大きさは、にぎりこぶし大から人頭大程度の大きさであり、かなり大量にたまっていた（写真－11）。

1993年水害では氾濫水とともに、氾濫に伴う土砂（土石）による家屋の流失被害が多く見られた。これに対して、Bagmati川右岸流域のRautahat県では集落の上流側に樹林帯があったことによって、家屋の流失を防止したと見られる事例が見られた（写真－12）¹³⁾。

【ソフト対策】

DPTCはBagmati川下流域のSarlahi県及びRautahat県における1993年水害の浸水実績図（Flood Hazard Map）を1994年に作成した¹⁴⁾（図－10）。このマップは水害発生後、DPTCがネパールのコンサルタント会社2社を通じて、痕跡調査及びインタビュー調査により行った浸水深調査結果に基づくものである。浸水深は1km×1kmメッシュ内の平均値に基づき3カテゴリーで表現され、浸水深の他に河川、道路、水路網も書き込まれている。このマップは非常によくできているが、いくつかの課題もあり、講義のなかで課題の指摘を行った。例えば、

- ・避難所が記入されていない
- ・安全な避難路が記入されていない。すなわち、避難路として使われる道路に関する土砂災害の危険性の



写真－8 水害後世銀融資により完成したLotha川堤防
融資により2年間で完成した高盛土（高さ7～8m）
の連続堤。22kmの延長を有する



写真－9 Lakhanda川の鉄線蛇籠による護岸
橋梁付近には丸石を詰めた鉄線蛇籠を用いた護岸が使
われていた



写真－１０ 水制群による河岸防御

Sapta Koshi川のSunsari地区には水制群が設けられ、
側岸侵食が防止された



写真－１１ 支川に堆積する土石

乾期には河川水が流下しなくなる河川も多い。河床には
にぎりこぶし大から人頭大までの大きさの礫が見られる



写真－１２ Bagmati川氾濫にもかかわらず家屋の流失が
防止された事例

上流からの氾濫水が迂回して、集落を襲ったが樹林
帯により家屋の流失が防止されたと思われる

FLOOD HAZARD MAP

JULY-1993

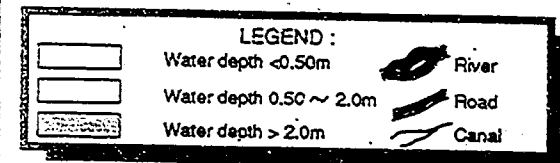
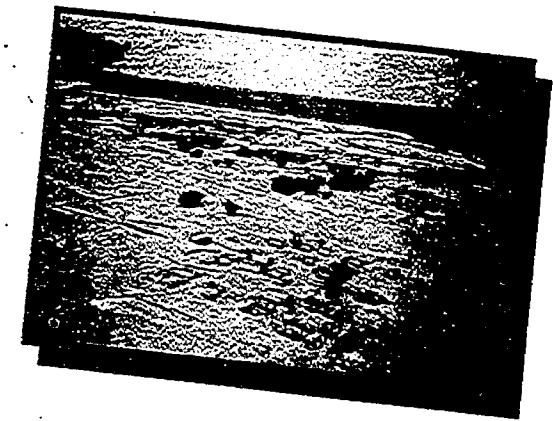
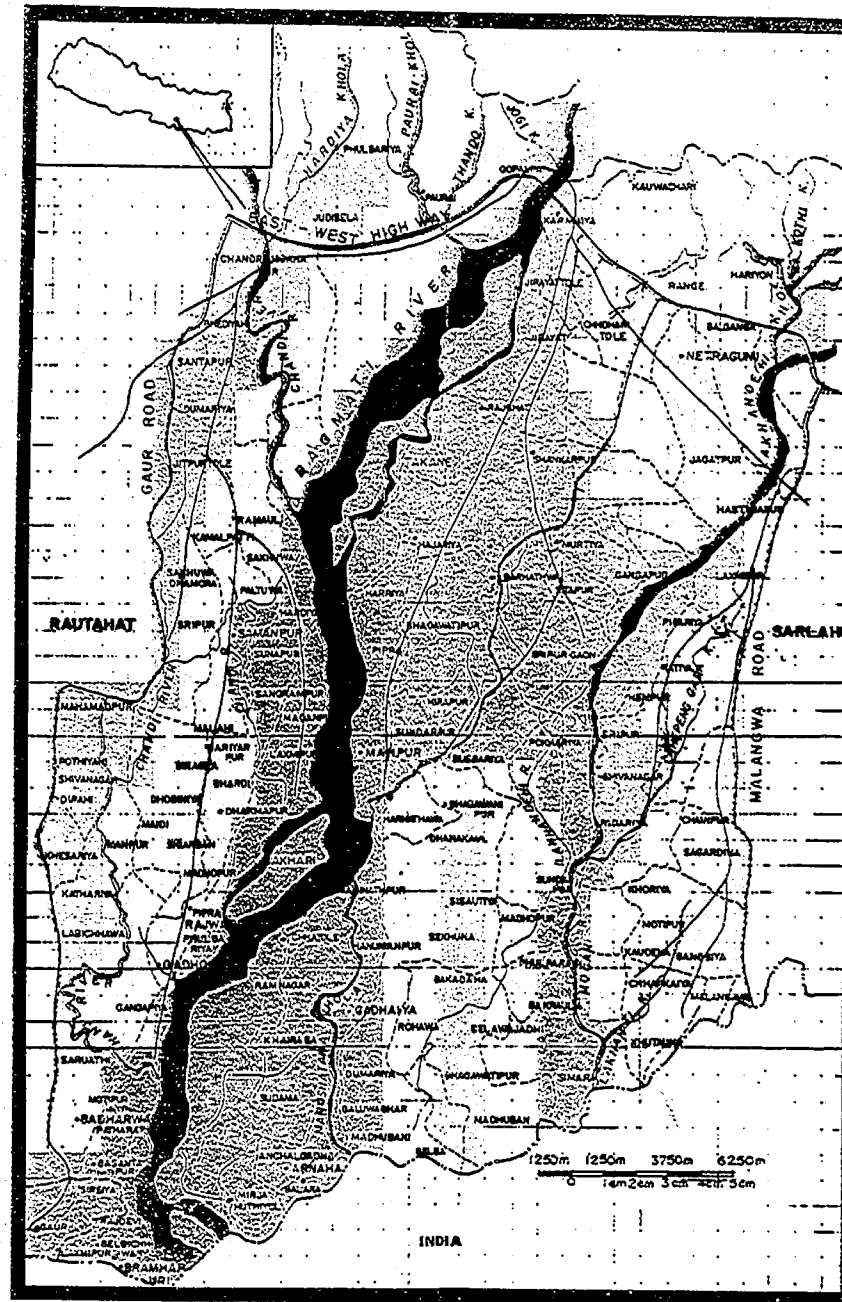
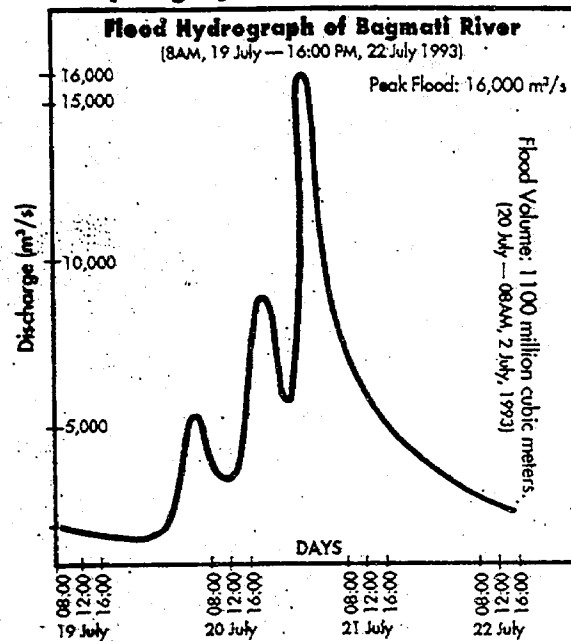
MAJOR DISASTER IN RAUTAHAT DISTRICT

S.No.	NAME OF VDC	Human Casualty (nos)	House Washed out (nos)	Land Loss (Hect)
1.	PAURAI	44	181	36
2.	DHARMAPUR	36	547	1014
3.	BADHARWA	8	468	170
4.	BASANTPUR	8	150	200
5.	GADHOU	3	141	307
6.	BRAHMAPUR	3	34	270
7.	GAUR NAGAR PAKIA	3	58	582
8.	SAWANPUR	1	45	251
9.	PIPARAJWADA	1	27	399
10.	RAJDEV	1	22	380
11.	OTHERS	3	330	4596
	TOTAL	111	2003	8205

MAJOR DISASTER IN SARLAHI DISTRICT

S.No.	Nome of VDC	Human Casualty (nos)	House Washed out (nos)	Land Loss (Hect)
1.	SHANKERPUR	237	387	656
2.	KARMAIYA	178	264	594
3.	BARAHATHAWA	81	535	1085
4.	MURTIYA	79	303	21
5.	RAUGHAT	19	258	1073
6.	HARJARIA	16	433	1206
7.	HATHIOUL	11	558	701
8.	GHHATOU	10	238	646
9.	BALARA	6	523	769
10.	MANPUR	6	448	801
11.	OTHERS	44	3603	7846
	TOTAL	687	7550	15398

Hydrograph at Pandheradobhan





写真－１３ １９９３年水害における浸水痕跡

水資源省灌漑局事務所はBagmati川の氾濫により浸水被害を被った。その時の浸水痕跡が建物に残されている



写真－１４ 高床式建物

洪水対策ではない。１階は資材置き場、家畜の飼育場所として利用されている。建築様式は木造が多く、水害に強い構造ではない

有無が不明である。日本で作成されているハザード・マップでは土砂災害危険区域を記入するようにしている。

- ・浸水深は3ランクで表示されているが、浸水深2m以上は区分されておらず、2階が浸水するかどうかの危険性を判断できるように、浸水深ランクを設定すべきである
- ・（洪水氾濫危険区域図を考慮して）マップを避難活動に役立てるには、時間のファクターを入れることが大事なので、例えば氾濫水の到達時間分布をマップ上に表現できれば、最適である
- ・マップの内容を住民が理解できるように、マップ内に解説文をつけたり、副読本を作成する必要がある。できれば、地域住民を集めて、マップの見方をはじめとする防災講習会を開催するとよい
- ・上記した副読本に、避難の心得として、避難情報伝達のルール、浸水中の避難速度・避難方法・避難の留意事項などを記述しておき、危機管理的な対応がとれるようにしておく
- ・マップは浸水区域内の全戸に配布するとともに、洪水前には特に避難誘導の役割をもつ人達に再度配布すると、非常に防災効果が高い。今回作成されたマップはセミナー会場において、参加した一部の住民にしか配布されていないとのことであった：宮崎県延岡市では、1993年に五ヶ瀬川及び大瀬川で計画高水位を突破する洪水となり、避難の呼び掛けを行った結果、避難勧告から約30分以内に大多数の住民の避難が完了した。これは防災関係機関の連携がとられていた他、避難誘導者に避難所の配置図を記載したパンフレットを洪水時に再度（毎年全世帯に配布）配布した効果が大きかった¹⁵⁾

などが改善すべき課題である。

現在、浸水予想区域図（Flood Risk Map）を作成すべく、検討を進めており、著者も現地で職員に技術指導を行った。ネパールの場合、氾濫モデルに開水路ポンドモデルを採用し、氾濫テクニックについては日本で採用されている各種方法^{*1}を活用することが望ましい旨の指導を行ったものである。

1993年水害ではBagmati川取水堰^{*2}付近からの洪水氾濫により多くの家屋が浸水した。流域にある水資源省灌漑局の事務所では、写真-13のように1993年水害時の浸水痕跡を建物の入口近くに示し、地域住民への啓蒙としている。担当者によれば、浸水深は約2mで、そのうち土砂が1m程度堆積したとのことであった。日本においては、表-7に示すように多くの自治体において多数の浸水位表示が行われており¹⁶⁾、この手法はネパールにおいてももっと盛んに導入を進めるべきである。

ネパールには各地に写真-14のような高床式建物が見られる。これは洪水氾濫に対する対応として建築されたものではない。カトマンズ市内ではレンガ造りの家が多いが、郊外では木板、竹、草でできた粗末な家も多く、今後建物が水害に強い様式となれば、中小氾濫に対しては効果を発揮すると考えられる。なお、高床式建物の1階は通常農業用資材置き場や家畜を飼う場所として利用されている。

*1：日本においては氾濫モデルとして、二次元不定流モデルが主流であるが、ネパールではモデルを容易に理解でき、計算労力及び時間をあまり要しない開水路ポンドモデルを推奨した。各種方法としては、土木研究所資料第3400号『氾濫シミュレーション・マニュアル（案）¹⁷⁾』に記載しているメッシュ分割方法、氾濫流量算定手法、水路・樋門・カルバートの流下量算定手法について説明した。

*2：Bagmati川取水堰は1983年に着工し、10年の歳月をかけて1993年6月30日に完成した。同年7月1日から運転を開始したが、7月20日洪水で被災した。堰自体の被害だけではなく、堰から東西に伸びる幹線灌漑水路を通じて洪水が離れた地域まで到達し、被害が広範囲におよんだ¹⁸⁾。

表－7 浸水実績の電柱等への表示¹⁶⁾

実施主体	実施地域	公示年月	公示内容	公示方法	箇所数
八代工事	人吉市他	S40. 8	S40. 7 洪水	電柱、表示板	1 3 2
川内川工事	川内市他	S44. 8	S44. 6 洪水	電柱	1 1 5
三次工事	三次市他	S47. 8	S47. 7 洪水	表示板	1 0 4
松戸市	松戸市	S50. 9	S50. 7 洪水	電柱	1 0 0
静岡県	静岡市他	S50. 12	S49. 7 洪水	電柱	1 8 1
浜田工事	江津市他	S51. 3	S47. 7 洪水	表示板	1 1 2

出典) 栗城・末次・小林：21世紀に向けた防災レポート、1995年

第7章 治水計画

ネパールには総合的な防災基本計画はなく、また河川法もない。しかし、内務省は災害管理のための国家行動計画¹⁰⁾を策定し、災害防止のシナリオを作っている。このシナリオのなかには考えられうる様々な対策が盛り込まれており、今一度レビューしておく必要がある。この計画にはあらゆる自然災害への対応が記述されているので、以下にはシナリオのうち、洪水氾濫に関係する（洪水氾濫以外の災害にも関連する）主要な計画をピックアップして列挙し、今後の治水のあり方の参考とする。

シナリオを見ると分かる通り、必要な対策はほとんど列挙されており、あとは実行するのみという立派な計画である。しかし、実施体制及び予算の制約から、各項目の（ ）内に示された予定年度までに実施されたのはBagmati川流域のTerai地区における浸水実績図（1994年に完成）など、わずかしがなく、絵に書いた餅に終わっている感は拭えない。なお（継続）とは実施予定年度が明らかでない項目であり、実施予定年度のあとには主担当機関（副担当機関）も示した。

【災害準備】

- ・国家的政策及び計画に関連する対策
 - 法律・制度の整備（1996中期）：MOH
 - 法的枠組の整備（1996）：MOH
 - 国家的政策及び計画の採用（1996）：MOH
- ・地質、水文、気象から見た危険度アセス
 - 浸水実績図の作成：Koshi、Bagmati、Tinau、Mahakali川（1996）：DOI（DPTC、DHM、DOI）
 - 浸水実績図の作成：Babai、West Rapti川（2000）：DOI（DPTC、DHM、DOI）
 - 降雨強度地図の作成（継続）：DHM
 - 洪水予警報システムの構築：Bagmati川（1996）：DOI（DPTC、DHM）
 - 洪水予警報システムの構築：Kamala、East Rapti川（2000）：DOI（DPTC、DHM）
 - 水文観測ネットワークの整備（1997）：DHM
 - 浸水実績図の編集及び配布（2000）：DOI（DPTC、DHM）
- ・危険度調査
 - 浸水危険性の高い道路の確認（1996）：DOR（DMG）
 - 浸水危険度の評価（1997）：DOR（DMG）
 - 対策の提案（1997）：DOR
- ・災害管理情報システム
 - 情報伝達システムの構築（1997）：MOIC（MOH、RNA、Police etc）
 - 地域における情報伝達訓練の実施、支援（2000）：MOIC
 - 災害情報の収集・伝達のための国家的災害管理情報システムの構築（1997）：MOH（INGOs、NGOs）

【災害対応】

- ・避難、搜索、救助
 - 避難所及び避難場所に関する避難計画の策定（1997）：MHPP（MOH）
 - 地域の緊急避難所の確認（2000）：DDRC
 - 地域における暫定的な搜索及び救助チームの編成（1996）：MOH（DDRC）
 - 救助訓練（継続）：MOH（RNA、Police、Scout、NCC、SWC、NGOs）

・情報伝達

地域とセンターを結ぶ緊急情報オペレーションセンターの設置（1996）：CDRC（RNA、Police etc）
必要な情報伝達機器のセンターへの配備（1999）：CDRC（RNA、Police etc）
地域における情報伝達ネットワークの整備（継続）：DDRC（RNA、Police）
輸送手段リストの作成及び更新（継続）：CDRC（DDRC）
救出・救助活動のための適切な輸送手段の確保（継続）：CDRC

【災害復旧及び復興】

・災害評価

災害形態別の標準的なアセスメント・フォーマットの作成（1996中期）：MOH（MHPP、DOR、DOSC、DMG、DOI）
アセスメント・フォーマット利用者のための演習（継続）：MOH（DDRC）
地域レベルでの災害評価のための恒久的チームの編成（継続）：CDRC、DDRC
被害情報の収集・加工・伝達（継続）：MOH、DDRC

・復旧・復興計画

地域レベルでの復旧・復興計画のための恒久的委員会の編成（1996中期）：MOH
災害評価レポートをレビューするため、災害形態別の恒久的専門家グループの設置（1996中期）：MOH
復旧・復興のためのガイドラインの作成（1999）：MHPP、DOR、DOI、DPTC、TU
復旧・復興活動のためのマニュアルへの発展（1996）：MHPP
被害者のための復旧計画の作成（1997）：MOEC

【被害の緩和】

・被害軽減戦略

自然災害の発生形態の把握（1996）：CDRC
検討結果の発信及び啓蒙（1996）：CDRC

・財政的戦略

国家予算から災害管理及び被害軽減計画への予算配分（継続）：MOF
災害活動の管理及び軽減のための予算措置に関するドナー国への働きかけ（継続）：MOF（MOFA、SWC）

・国家スケールでの土地利用計画

国家スケールでの土地利用計画の策定（1998）：MOFSC（MOWR）
計画の実行（継続）：MOFSC（MOWR）

・リスク評価

あらゆるタイプの災害に対するリスク評価プログラムの開発（継続）：CDRC
開発行為のなかでリスク評価結果を考慮する（継続）：HMG

・災害軽減手法に関する政策

N G O等の参加に関する国家計画の策定（1998）：CDRC（NPC、SEC、FNCCI）

第8章 今後の氾濫原管理のあり方

今後ネパールにおける氾濫被害を軽減するためには、上流域からの土砂及び雨水の流出抑制なども考慮して、氾濫原管理の視点を踏まえた治水対策が必要であろう。

ネパールにおける氾濫被害の軽減のためには、5つのポイントがある。

- 1 上流域からの土砂及び雨水の流出を抑制するため植林、床止め、雨水貯留を行う
- 2 氾濫しないよう、必要最低限の築堤及び河岸侵食防止工を設ける
- 3 たとえ氾濫しても、被害が少なくなるよう、住民の水害危険意識を高めておくとともに、水害に安全な避難場所及び避難情報伝達手段を用意しておく
- 4 樹林帯又は水害に強い建築様式等により家屋の流失だけは防止し、水害後の生活再建をはかりやすいようにする
- 5 災害援助国に被害状況を迅速に報告するために、リモセン情報を活用する（ネパールにリモセンのセンターがある場合）

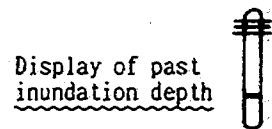
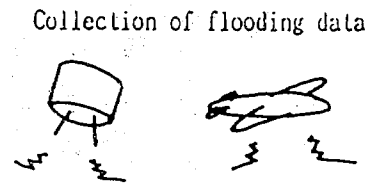
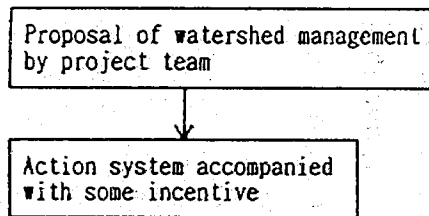
これらの氾濫原管理手法を図化したものが、図-11であり、DPTCにおける講義のなかで使用したものを若干アレンジしている。なお、ネパールの場合は財政的な制約条件がもっとも大きいので、あまり予算を要しない手法を図中に波線のアンダーラインで強調した。

ネパールにおいては、今後治水対応を行うために先ず雨量・水位・流量観測体制を整える必要がある他、ネパールにおける種々の特性に適した氾濫原管理手法を採用していくことが重要である。氾濫原管理手法を対応パターン別に分類すると、以下のようになる。

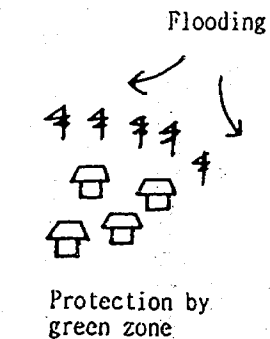
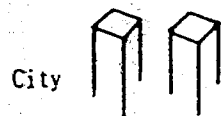
- ・土砂の流出抑制→植林、蛇籠を用いた床止め
- ・雨水の流出抑制→植林、ため池の嵩上げ、校庭貯留
- ・河岸防御 →洗掘防止工
- ・氾濫被害の防止→築堤、消防団による水防活動
- ・氾濫流の制御 →防災樹林帯、二線堤
- ・避難体制の強化→広報スピーカー、ピロティ式校舎、盛土シェルター
- ・水害意識の高揚→水害危険度の表示（立看板、電柱表示）
- ・災害状況の把握→リモセンによる情報収集

これらの手法のうち、ネパールには消防団の組織があるので、この組織を活用した水防活動は、洪水ピーク時間がそれほど長くないネパールにおいては、氾濫被害軽減対策に有効な手法となる。

また、ピロティ式校舎はバングラデシュにおいて、サイクロン対策用のシェルター（避難所）に採用されており、1991年のサイクロン後、多目的サイクロンシェルター・プログラムが策定されている^{20) 21)}。一方、盛土シェルターは中国の黄河流域において採用されている手法で、学校や穀物倉庫などの公共建物のみを対象とした『水害防御プラットフォーム』と住民の家屋が建てられる『村のプラットフォーム』からなる。1992年までに完成したプラットフォームは総面積24km²以上、土工量1億3500万m³にもおよぶものである²²⁾。

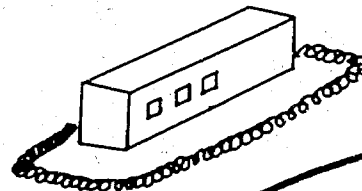


Protection of city
using secondary levee
(road)



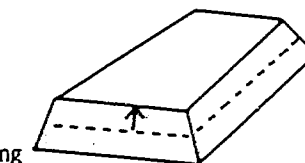
Flood fighting by
fire fighting squadron

Detention in
school yard

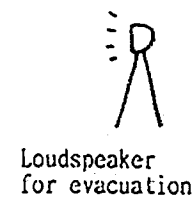


Dredging

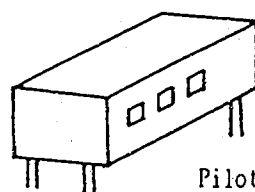
Measures against scouring
(vane work or revetment)



Landfill of
farm pond



Landfill-type shelter using
dredged boulders and sands



Notice of
flood hazard



Levee

River

Afforestation

Consolidation work
using gabion

図-11 ネパールにおける氾濫被害軽減対策

次にネパールに適した手法である防災樹林帯について詳細に説明する。防災樹林帯とは集落の上流側にある程度まとまった樹林や盛土を設けることにより、家屋に作用する氾濫水の流体力（流速²×水深： $v^2 h$ ）を低減させ、家屋の流失を防止しようとする手法のことである。前述したように、1993年水害の際ネパールにおいても樹林帯により家屋の流失が防止されたと思われる事例が見られたし、日本においても1998年8月末豪雨の際に、那珂川支川の余笹川流域において上流側に樹林があった家屋の流失率が、樹林がない家屋の流失率の半分程度であったことに代表される。これまで、都市河川研究室では現地調査、水理模型実験、氾濫計算を駆使して、防災樹林帯による家屋流失防止効果の検討を行ってきた^{2,3)}。モデル流域における計算の結果を以下に示す。

計算は250m×500mのモデル流域を2.5m×2.5mのメッシュ（2万メッシュ）に分割して、行った。氾濫原粗度係数は0.05を与えた。計算上の水理条件（現地換算）としては氾濫流量が1,218m³/s（家屋を流失させる流体力の目安である10m³/s²相当）、樹林帯の幅が50mで、樹林帯の奥行き長さ L 及び樹木間隔（密度） I を変えた計算を行った。標準的な計算ケースである $L=15m$ 、 $I=2.4m$ の場合の無次元流体力（樹林帯がある場合の流体力 $v^2 h$ を樹林帯が無い場合の等流の流体力 $v_0^2 h_0$ で割った値）の分布は図-12の通りである。樹林帯背後における流体力の特徴は、等流体力線が楕円状に分布していることである。これは下流に行くほど流体力が増加すること、樹林帯から迂回した氾濫水により樹林帯中心線上から離れるに従って流体力が増加することによるものである。

流体力に影響を及ぼす範囲として、樹林帯幅×樹林帯下流120mを想定して、①樹木間隔を2.4mに固定して樹林帯の奥行き長さを変えたケースと、②奥行き長さを15mに固定して樹木の間隔を変えたケースにおける無次元流体力を図-13及び図-14に示した。これらの図から分かるように、樹林帯により無次元流体力は0.4～1となり、平均値で見ても樹林帯がない場合に比べて、無次元流体力は3～4割減少している。そして、樹林帯の奥行き長さが長くなったり、樹木間隔が狭くなることにより、流体力が軽減されることが分かる。この結果は樹林による氾濫水の阻害効果のみであるが、実際の氾濫時には樹林に流木や草がまきついたり、氾濫水に含まれる土砂が樹林帯内に堆積することによって、更に流体力の低減が期待できる。なお、標準的な計算ケースの結果を図-13～14中に●印で示した。

一方、上中流域から輸送された土砂が河床を上昇させ氾濫しやすくしたり、氾濫水とともに土石が運ばれ、家屋に被害をおよぼすので、河道の土砂を浚渫することが大事である。今回の現地調査では、河道内の中洲に家屋や農業用水路があり（不法占用？）、浚渫がはたして可能かどうかについては不明であったが、もし可能であれば、浚渫土砂のうちのある成分は氾濫被害軽減手法である

- ・蛇籠を用いた床止め工
- ・ため池の嵩上げによる治水容量の確保
- ・盛土シェルターの建設
- ・雨水流出抑制のための校庭貯留用の盛土

などに使用できるし、成分によっては築堤工事にも利用可能であるので、活用方法によっては一石二、三鳥の対応策にもなりうると言える。

最後に5つ目のポイントであるが、災害援助を行うドナー国は援助のために早急に被害状況を入手しなけ

ればならないので、今後はできる限りリモセン等の情報収集手段を活用する必要がある。1993年7月水害の際、被災地は道路・橋梁の損壊により陸路が途絶され、また通信網は皆無であったために、被害情報を収集するのが非常に困難であった。それでも担当者は崩壊・地すべりのなか、危険をおかしながら徒歩で情報を収集し、遠距離にある県庁まで行って報告を行ったのである。

以上述べた氾濫原管理手法は、使い方によっては非常に有効である。問題は誰（どこの機関）がこうした手法を提案するかである。『第5章 治水に関連する組織』でも述べたように、ネパールの場合、日本以上に組織が縦割りであり、こうした総合的な手法についてはなかなか提案しにくい環境にある。しかし、DPTCは様々な組織のスタッフで構成されており、こうした機関こそ横断的な手法を提案するのにふさわしいと考えられ、図-11のなかにそのことも記述しておいた。

また、たとえこうした手法が検討されたとしても、それを実行するインセンティブが働かなければ、実際の行動（施策）には移されない。従って、限られた予算内ではあるが、ある程度の予算を地域（県レベル）に配布し、その予算で効果的な対応がなされた場合に、次の措置へステップアップできるような、モチベーションが必要となる。そこで、何らかの工夫が必要となるのである。

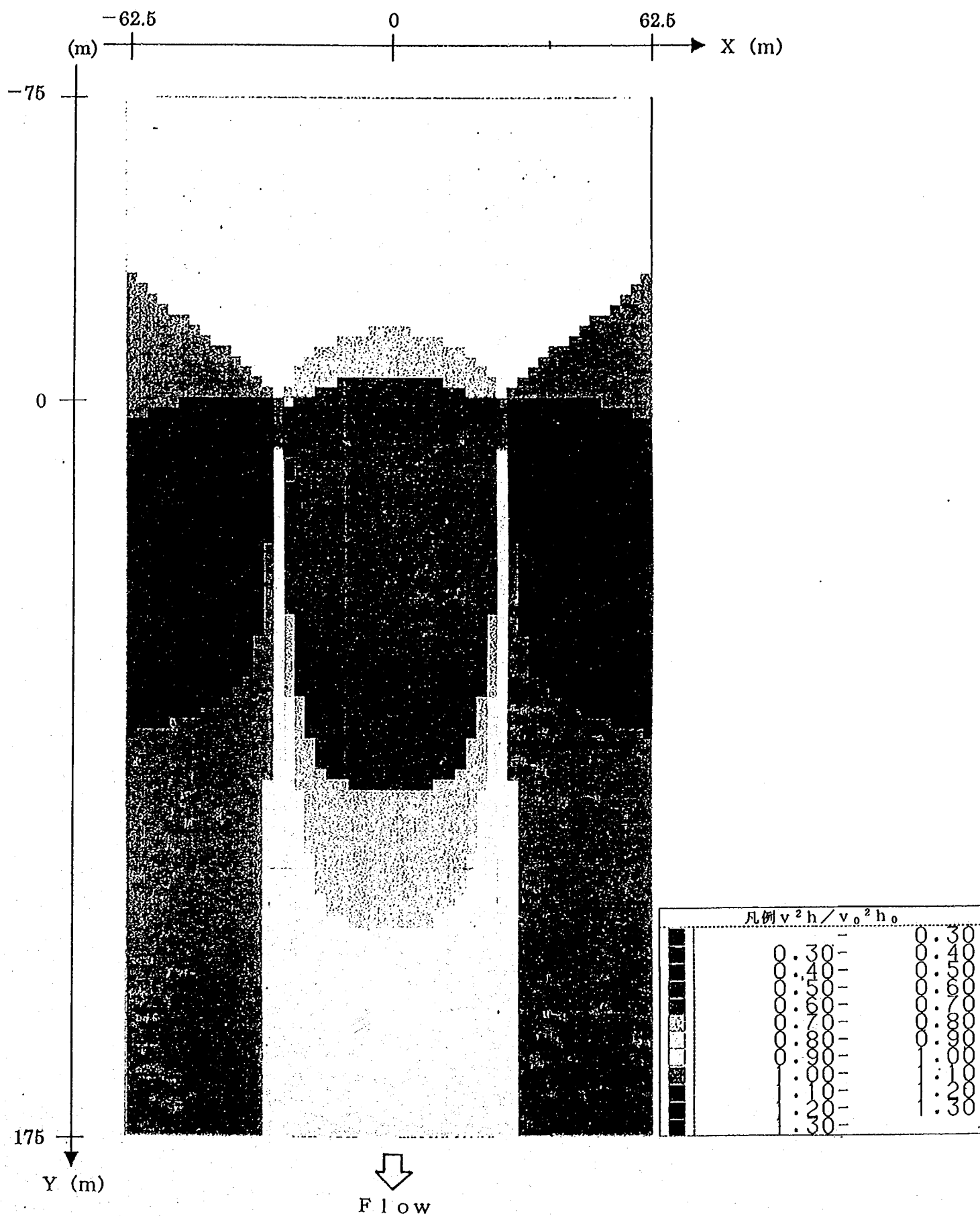


図-12 無次元流体力の分布状況

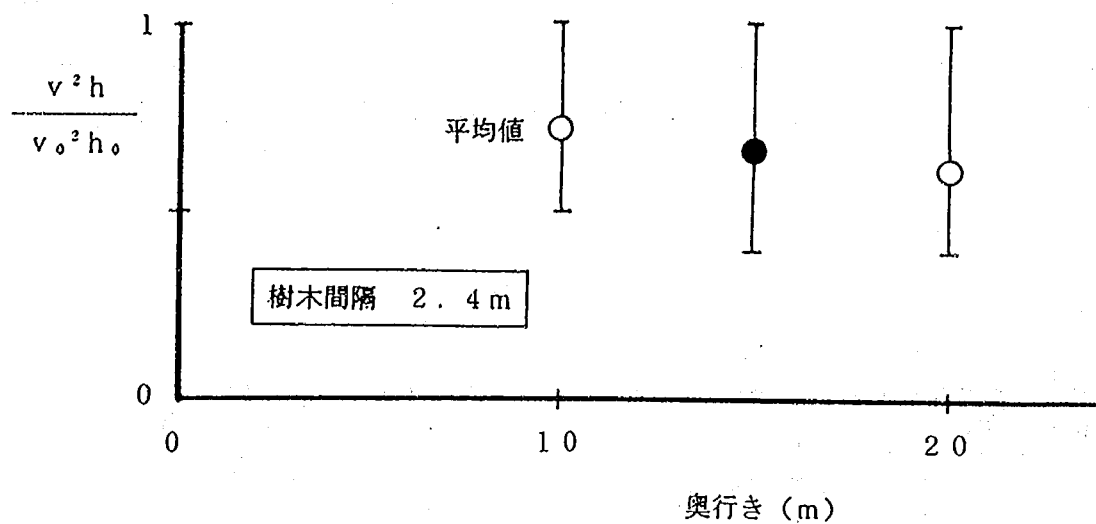


図-1.3 無次元流体力の低減効果（奥行き）

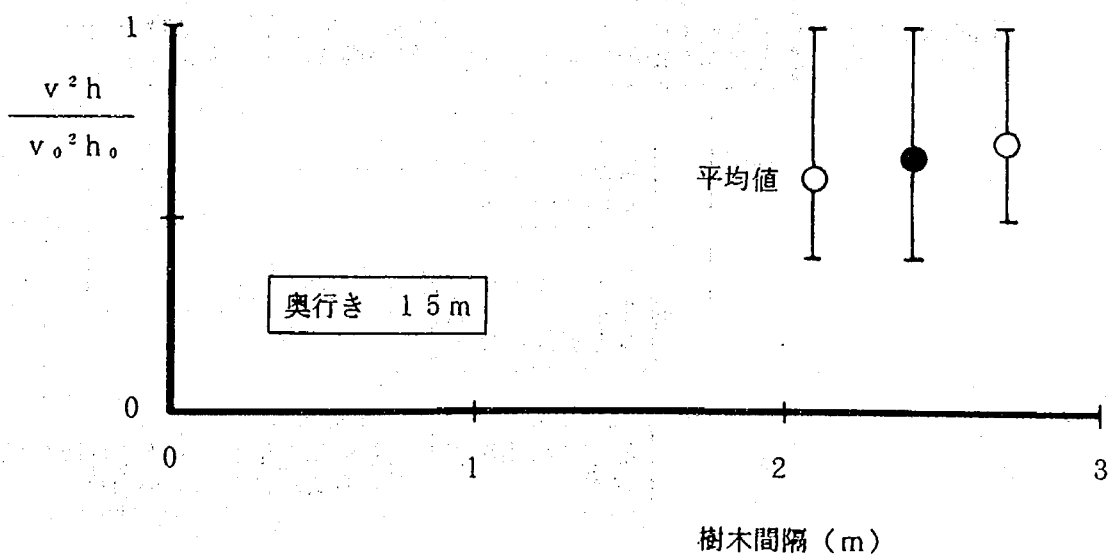


図-1.4 無次元流体力の低減効果（樹木間隔）

第9章 まとめ

ネパールにおいて水害被害が減少しない理由は、以上で述べたように様々な要因（地形、河道、水文、社会、経済的要因）が関係している。そして、これらの要因がお互いに関係しあって、治水対策の促進を阻害し、又は治水施設整備への悪循環を招いていると言える。これらの因果関係を明確にするには、今回の調査以上に詳細な現地調査及び様々な資料の収集・分析等が必要であるが、本章では限られた調査内容からではあるが、因果関係について、図-15のように整理を試みた。特に重要な要因については、二重枠で表示した。

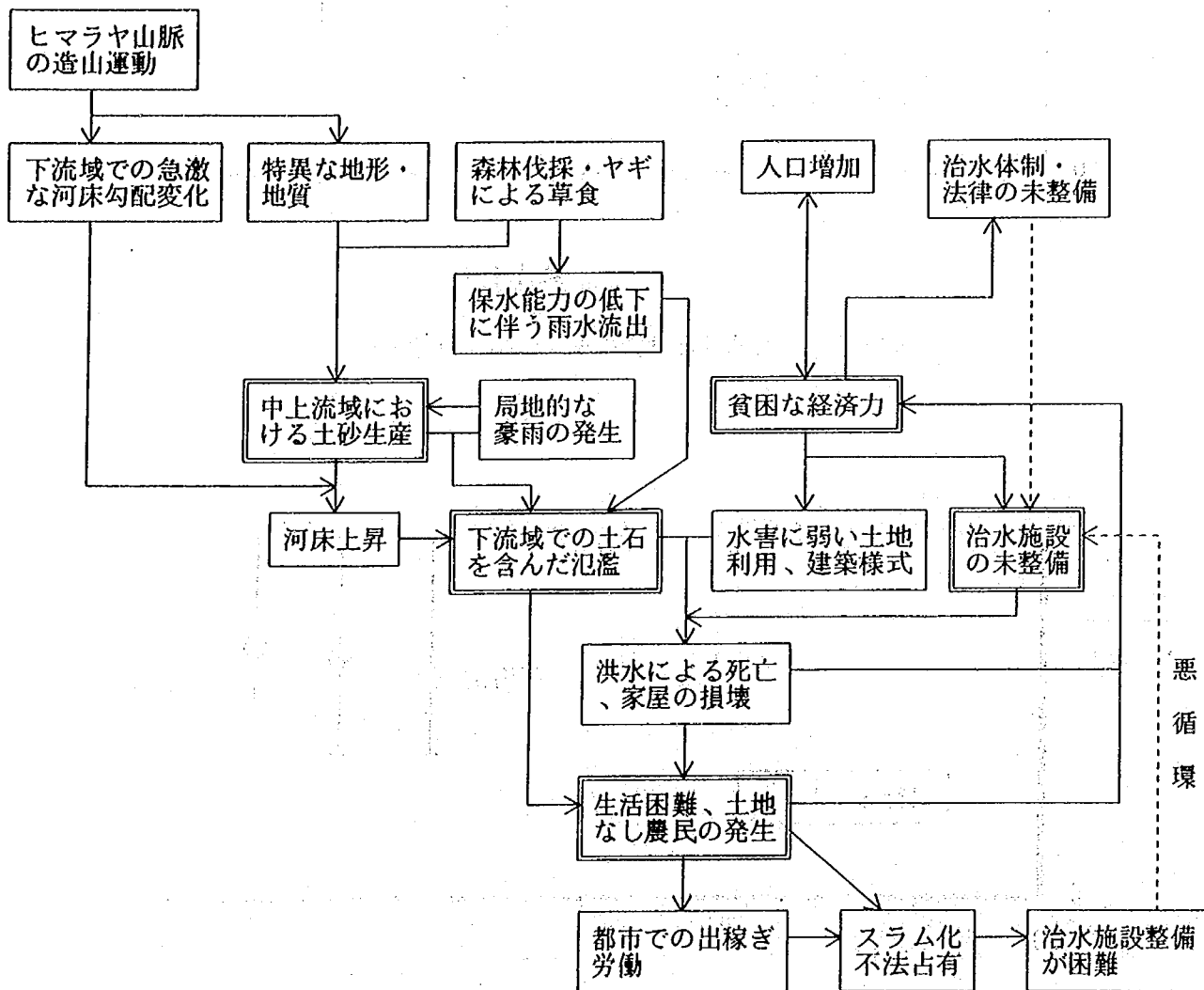


図-15 氾濫被害軽減対策の阻害要因

注) 治水施設はハードの施設だけでなく、情報伝達・避難などのソフトの対策も含んでいる

結 語

本報はJICA短期専門家という、非常に短い期間のなかでの調査・研究成果ではあるが、現地調査結果及び現地の資料を丹念に整理・分析したものであり、これからの開発途上国における治水計画策定や治水対策の選択にあたって、参考になると考えられる。今後はBagmati川下流域における洪水氾濫危険区域図の作成に対して助力するとともに、豪雨時の洪水又は氾濫水の挙動を調査して、地形特性と氾濫特性との関係を明らかにし、更に最適な洪水予測、氾濫予測手法への展開が図ればよいと考えている。

最後に、今回の調査に関して、様々な資料を提供して頂くとともに、現地調査のための便宜を図って頂いた川崎伸哉JICA専門家及びK. P. Rizal所長をはじめとするDPTC職員の皆様に感謝の意を表します。またJICA社会開発協力第一課の上町氏には、今回の派遣手続きに関して、非常に御世話になった。紙面を借りて謝意を表します。

参考文献

- 1) 栗城稔、末次忠司、河原能久、海野仁、田中義人：開発途上国における都市河川改修計画策定マニュアル（案）、土木研究所資料第3596号、1998年
- 2) DPTC : Annual Disaster Review、1992
- 3) 山口甲、上野順也、鈴木洋之、山崎文明：Nepalの河川と河川災害、開発論集第60号、1997年
- 4) 山本徹、黒木幹男、山口甲：ネパールの河川の土砂動態と治水、第4回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集、1998年
- 5) 山口甲、上野順也、鈴木洋之、山崎文明：Nepalの河川と河川災害、開発論集第60号、1997年
- 6) Labon : Field Bagmati River Erosion and Sedimentation in Nepal、1978
- 7) DPTC : Annual Disaster Review及びDisaster Review
- 8) Ministry of Homeの調査による
- 9) The Kathmandu Post News Data、1993年9月24日
- 10) Ministry of Home & DPTC : Photo Album "Disaster of July 1993 in Nepal"、1993
- 11) 大井英臣、佐藤由美、ゴディング・コイララ：被災地の人々 ネパール1993年7月水害被災者の証言、ネパール治水砂防技術交流会、1998年
- 12) Ministry of Home : National Action Plan on Disaster Management in Nepal、1996
- 13) Ministry of Home & DPTC : Photo Album "Disaster of July 1993 in Nepal"、1993
- 14) K.R.Pathak : Flood Hazard and Flood Control by Structural and Non-Structural Measures in Nepal、Proceedings of International Seminar on Non-Structural Flood Control Measures、1997
- 15) 栗城稔、末次忠司、小林裕明：洪水による死亡リスクと危機回避—すぐに役立つ実践的危機管理のポイント（避難編）—、土木研究所資料第3370号、1995年
- 16) 栗城稔、末次忠司、小林裕明：21世紀に向けた防災レポート—洪水災害の防災体制の強化—、1995年
- 17) 栗城稔、末次忠司、海野仁、田中義人、小林裕明：氾濫シミュレーション・マニュアル（案）、土木研究所資料第3400号、1997年
- 18) 大井英臣、佐藤由美、ゴディング・コイララ：被災地の人々 ネパール1993年7月水害被災者の証言、ネパール治水砂防技術交流会、1998年
- 19) Ministry of Home : National Action Plan on Disaster Management in Nepal、1996
- 20) 中川一：巨大高潮から生命を守る—バングラデシュのサイクロンシェルター—、土木学会誌、Vol.8、1996年
- 21) 栗城稔、末次忠司、河原能久、海野仁、田中義人：開発途上国における都市河川改修計画策定マニュアル（案）、土木研究所資料第3596号、1998年
- 22) Yang Qingan and Luo Qimin : Strategy for Dike Breaching and Floodplain Risk Management in the Yellow River、Proceedings of International Workshop on Floodplain Risk Management、1996
- 23) 末次忠司、舘健一郎、小林裕明：防災樹林帯の氾濫流制御効果、土木研究所資料第3538号、1998年

参 考 資 料

今回の派遣の目的はD P T C職員に『洪水氾濫危険区域図』作成のために、先ず日本における氾濫及び治水の実態、各種洪水危険地図・氾濫解析モデル及びテクニックを説明し、次いでネパールに適した『洪水氾濫危険区域図』作成手法について技術指導することであった。しかし、これらの手法は氾濫被害軽減対策の1 ツールにしかすぎないことから、氾濫原管理という更に幅広い観点から講義形式で技術指導を行った。

本資料はD P T Cにおける講義で使用した資料を若干アレンジしたもので、本報の概要版（英訳）とも言えるものである。講義に参加できなかった、又は今後D P T C職員となるネパール人職員に対して参考になると考え、本報の参考資料とした。

Mitigation Method for Flood Disaster Prevention

Urban River Division, Public Works Research Institute

Ministry of Construction

Tadashi SUETSUGI

【Flood Disaster Prevention Measures】

※To reduce flood damages, various measures must be taken in combination

Staff in charge need to consider non-structural methods besides structural methods

○Before flood

- Proper setting of flood protection facilities → dam, levee, diversion channel and retarding basin
- Improvement of flood protection facilities → waterproof sheet inside levee, gabion at the foot of levee : countermeasures against overtopping
- Set-up of flood disaster prevention facilities in inner land → infiltration facilities (infiltration pit, infiltration trench and permeable pavement), stormwater storage facilities (disaster prevention adjusting reservoir, storage using underground space and storage in parking lot)
- Improvement of flooding control facilities → secondary levee, flooding control green zone and networking of waterways
- Indication of flood prone area → map (past inundated areal map, flood prone areal map and predicted inundation areal map), indication of past inundation level on the telegraph pole, display of the predicted inundation area on the personal computer through hazard simulator
- Land use considering danger of inundation → proper land use against flooding and disaster caused by sand and stone avalanches, land use regulation*
- Collection and transmission of information (among public organizations) → high-speed and simultaneous facsimile, stationing of staff in charge of information, arrangement of staff on duty at night and on holidays
- Collection and transmission of information (public organizations→residents) → collection of information from private sectors (chief of town associations, and taxi drivers), information transmission to residents through loudspeakers and wireless devices

*According to Building Act No.39 in Japan, local governments can regulate structures (floor level, type of foundation) of residence and prohibit housing construction in the designated disaster risk areas

- Education on disaster prevention → textbook, announcement of evacuation places, confirmation of flood prone area by residents, seminar on disaster prevention
- Announcement of danger degree → distribution of flood risk map to residents on purchasing land or renting houses

○In emergency

- Flood forecasting → it is difficult to collect the data of inlet volume from such facilities as a pumping station
- Flood advisory and warning → information transmission (problem in hard and soft)
- Operation of drainage facilities → sluice gate, pump and gate (overtopping levee, waterway)
- Flood fighting → volunteers' activities at the time of overtopping (with sandbag), seepage and scouring
- Evacuation and rescue activities → opening of evacuation places, guidance at evacuation, rescue of isolated people by helicopter and relief activities to wounded people

○After the disaster

- Relief activities → temporary residence, disaster condolence money, insurance → with special contract of fire insurance
- Economical support → tax reduction and exemption, financing with low interest
- Counseling service → especially for children

【Presentation of flood risk】

※Concerning the measures to present flood risks, notice on telegraph poles and simulator using computer besides flood risk maps are considered

○Past inundated area map

Recorded inundation area in the past is displayed on the map

Maps compiled by M.O.C., local governments and municipalities

The purpose is to inform residents of flooded area and to raise their consciousness

Various countries have so far investigated their inundated areas (400~3000 sites/time)

○Flood prone area map

This map is based on the results (design flood level calculated by non-uniform flow model) and elevation in inner land

M.O.C. compiled maps for all main streams in the jurisdiction / investigation of accumulation ratio of population and assets → about 50% of population and 80% of assets are accumulated in flood prone area

Tokyo Metropolitan Government shows multi-stage flood prone area in accordance with the results of each exceedance probability by non-uniform flow model

○Predicted inundation area map

Predicted inundation area is simulated and shown in the map

Some municipalities compiled flood hazard map (scale=1/7500~1/25000) based on the maps compiled by M.O.C.

Evacuation places are indicated on the map

This kind of maps are made for all main streams managed by M.O.C.

Calculation model: two-dimensional unsteady flow model (53%), pond-type flow model (27%) and non-uniform flow model (17%)

Mesh size: 500m×500m (48%), 250m×250m (45%) and 1km×1km (4%)

When the maps were published, several concerns arose, eg. drop in land price in the predicted inundation area, degradation of town image, public anxiety etc, however there seemed no influence out of the maps

○Indication of inundation level on the telegraph poles

Recorded maximum inundation levels in the past are indicated on telegraph poles and standing signboards, and also informed in community centers

In Japan, local government (Shizuoka Pref.) shows the recorded inundation level on 181 telegraph poles

Flood levels are sometimes shown on the bridge pier

○Hazard simulator

Inundation areas calculated by computer are displayed in personal computers

Public Works Research Institute of M.O.C. developed this system / Tsurumi River basin is the target → Based on this system, Kanto Regional Construction Bureau made internet home-page on the predicted inundation area

On the display, besides hourly inundation situation (water depth, flow direction and velocity of flooding water), evacuation places, flood fighting depots, critical parts for flood fighting, distribution of time needed to evacuation places, list of flood damage amount and danger zone by sand and stone avalanches are also shown

【Matters of special attention in the display of flood risks】

※It is necessary to pay attention to the usage of display, target area for simulation and characteristics of flood plain

○Usage of calculation results

Indication of the most dangerous zone → accuracy in survey and calculation is not required

For the purpose of evacuation and flood disaster prevention → to some extent, accuracy in survey and calculation is required

○Target area of calculation

Wide area → Survey density is low. Mesh size is big (number of meshes is less than 10000)

Narrow area → Survey density is high. Mesh size is small

○Characteristics of flood plain

Narrow flood plain with steep slope → Non-uniform flow model can be used

Flood plain with gentle slope → Inertia (acceleration) term must be considered

Landfill may effect flooding flow

○Display method

Inundation information: water depth, velocity and flow direction of flooding flow → inundation period is significant in case back marsh and swamps are continuously located

Supporting information for disaster prevention → location and specification of disaster prevention organizations, evacuation places, flood fighting depots and hospitals

Hazard map for evacuation must include dynamic information, such as propagation time of flooding water and so on

Areas prone to sand and stone avalanches must be shown on the map so that safe evacuation routes could be selected

Careful attention is needed to indicate evacuation routes: when the direction of main flooding flow becomes different from the predicted one, the routes may be dangerous

It is better to show the effect of flood protection facilities (improvement of inundation situation)

【Flood simulation technique】

※It is necessary to carefully set up flooding conditions, such as flooding discharge and dyke-break width, division of target area, not to mention the selection of flood simulation model

○Target area

A little wider target area must be chosen so as not to cause water stoppage in the surrounding target area

○Flooding discharge and location of dyke-break

Flooding discharge: Flooding is basically caused by dyke-break or overtopping → inner water must be considered in the area where small-scale inundation often occurs

Location of flooding: Actual flooded site, predicted dangerous site (confluence, transition section of river bed slope, closed section of old river and scouring cave close to levee)

Depending on the purpose, locations where flood loss amount is the biggest, or the elevation of river bed is higher than the ground elevation (flooding discharge is large) are selected

Flooding discharge can be estimated from water stage using the following modified Homma's formula:

[dyke-break]

$$I > 1/1580 \quad Q/Q_0 = (0.14 + 0.19 \log_{10}(1/I)) * \cos(48 - 15 \log_{10}(1/I))$$

$$1/1580 \geq I > 1/33600 \quad Q/Q_0 = 0.14 + 0.19 \log_{10}(1/I)$$

$$1/33600 \geq I \quad Q/Q_0 = 1$$

[overtopping]

$$I > 1/12000 \quad Q/Q_0 = \cos(155 - 38 \log_{10}(1/I))$$

$$1/12000 \geq I \quad Q/Q_0 = 1$$

[Homma's formula]

$$Q_0 = 0.35 \cdot B h_1 \sqrt{2gh_1} \quad : \text{free overflow}$$

$$Q_0 = 0.91 \cdot B h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad : \text{submerged flow}$$

I : river bed slope, Q_0 : flooding discharge calculated by Homma's formula

○ Dyke-break width : real value, predicted dyke-break width

Predicted dyke-break width : x(m) river width, y(m) dyke-break width

$$\text{at confluence} \quad y = 2.0(\log_{10} x)^{3.8} + 77$$

$$\text{at other section} \quad y = 1.6(\log_{10} x)^{3.8} + 62$$

Hourly change of dyke-break width : If there are actual values, they must be used, and if not, close values should be predicted as follows :

When dyke-break occurs, a half of the final width becomes damaged, then in one hour, the whole dyke breaks out → This is the final dyke-break width. The breaking velocity is constant

○ Flood simulation model

1-dimensional flow model : Storage function method, Muskingum model and simplified unsteady flow model

2-dimensional flow model : Pond-type flow model and unsteady flow model

An appropriate model is selected corresponding to cost, labor of calculation and accuracy of calculation → 2-dimensional flow model is normally applied, unless the target area is a basin of steep flood plain

Calculation for 2-dimensional unsteady flow model requires 6 to 15 times longer than for 1-dimensional flow model

※ The calculation condition for 2-dimensional flow model is as follows :

○ Division of target area

Basically speaking, accuracy of calculation results is promoted, when the area is divided into much smaller meshes

Mesh size is determined according to collected information volume, labor, calculation time, interval time for calculation, and purpose

If the mesh size becomes half, time needed for c.p.u. calculation becomes 6 to 8 times longer, and also longer time is needed to collect information

When supposed mesh size is Δx , Δt must be less than 40 seconds for $\Delta x \leq 1\text{km}$

○Process of calculation

Flooding discharge from dyke-break section : flooding discharge is determined according to the recorded maximum flood discharge or designed flood discharge (hydrograph)

Ground elevation of inner land : mean elevation in each mesh

Arrangement of facilities (location and specification) : landfill, waterway, sluice gate, culvert and pump → facilities are allocated at the boundary of mesh

Particularly, landfill affects the behavior of flooding flow

Waterway, having more than 1/5 of mesh width, must be considered

○Calculation model (main flooding flow)

• Pond-type flow model

<Continuity equation>

$$F \frac{dH}{dt} = Q_{in} - Q_{out}$$

<Motion equation>

$$\frac{L}{g} \frac{dv}{dt} = (h_1 + z_1) - (h_2 + z_2) - L \frac{n^2 |v'| + v}{h^{4/3}}$$

F:horizontal inundation area, H:water level, t:time, Q_{in} :inlet discharge, Q_{out} :outlet discharge, L:distance between ponds, v:velocity, h:water depth, z:elevation, n:roughness coefficient in flood plain

Roughness coefficient in flood plain is basically determined for each mesh → the same coefficient could be applied in case of ponds with similar characteristics

Example) $n=0.1$ (paddy field, farm land), 0.3 (urbanized area) → roughness coefficient of each mesh is estimated by compounded each coefficient and each area

• 2-dimensional unsteady flow model

In this model, mutual effect of x-direction flow and y-direction flow is considered, which is different from pond-type flow model. As a result, cross-sectional inundation depth of flooding flow is close to the actual value (cross-sectional inundation depth remains in the same level by using pond-type flow model).

<Continuity equation>

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

<Motion equation:x-direction>

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial (uM)}{\partial x} + \frac{\partial (vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{xb}}{\rho}$$

<Motion equation:y-direction>

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial (uN)}{\partial x} + \frac{\partial (vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{yb}}{\rho}$$

inertia
term

diffusion term

water surface
slope term

resistance term

$$\tau_{xb} = \frac{\rho g n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}, \quad \tau_{yb} = \frac{\rho g n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}$$

h:water depth, t:time, M:discharge flux in x-direction ($M=uh$), N:discharge flux in y-direction ($N=vh$), u:velocity in x-direction, v:velocity in y-direction, H:water level, τ_{xb} :shear stress in x-direction at bottom, τ_{yb} :shear stress in y-direction at bottom, ρ :density of water

Roughness coefficient in flood plain is determined for each mesh basically → The same coefficient could be applied in the case of meshes with similar characteristics

Example) roughness coefficient in flood plain

$$n^2 = n_0^2 + 0.020 * \frac{\theta}{100 - \theta} * h^{4/3}$$

$$n_0^2 = \frac{n_1^2 A_1 + n_2^2 A_2 + n_3^2 A_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

θ :occupied ratio of building(%), $n_1=0.060$ (farm land), $n_2=0.047$ (road), $n_3=0.050$ (other land use)

○Calculation model (discharge by drainage facility and so on)

Landfill : improved Homma's formula

Waterway : uniform flow model or non-uniform flow model

Sluice gate, culvert : following Doken's experimental formula

No.	relation between water levels		calculation formula
1	$h_2 \geq H$		$Q = 0.75 B H \sqrt{2 g (h_1 - h_2)}$
2	$h_2 < H$	$h_1 \geq \frac{3}{2} H$	$Q = 0.51 B H \sqrt{2 g h_1}$
3		$h_1 < \frac{3}{2} H$	$Q = 0.79 B H \sqrt{2 g (h_1 - h_2)}$ in case of $\frac{h_1}{h_2} \geq \frac{3}{2}$, h_2 is replaced to $(2/3) h_1$

h_1 : water level (level is higher than h_2), h_2 : water level,

H: height of sluice gate and culvert

【Others】

- Instruction manuals must be published to explain how to read the map, or a seminar for disaster prevention must be organized

People who guide evacuation (it is better to assign people in charge) are supposed to understand the map well

- It is necessary to think of the measures so that general public would not discard the maps

Example) calendar, making a list of available telephone number, hanging it in a transparent sheet

- Maps must be fully utilized in case of emergency

Example) using waterproof paper, re-distribution of the maps before disasters occur (at flood time)

- Instruction manuals should include the details needed for evacuation

Example) Evacuation speed on foot at inundation time is 1.6km/hr when water is below knee level and 1.1km/hr between knee and waist level

Not to be swept away, two or more persons evacuate together hand in hand, or with rope or bamboo pole

A stick or pole is useful not to fall down into waterway or gutter

The aged and handicapped people must be carried using ladder, and babies in a baby bathtub

When inundation level becomes higher than the height of cars' muffler level, car must be left behind on a roadside with car-key inserted, and evacuation on foot is safe

- It is important to know the history of past inundation, which gives information on the land condition in the residential area
- If there is a special telephone that informs residents of rainfall or flood level, its telephone number must be shown on the map
- Land subsidence may change inundation condition
- It is necessary to pay attention to the secondary disaster due to inundation

Example) Melting aluminium or iron powder may generate steam explosion

Gas explosion may occur by metal kalium and metal sodium

Unplugging is important at inundation time, not to cause electric fire