

Nepal国の河川と河川災害

River Systems and Disasters in NEPAL

山口・甲*
Hajime YAMAGUCHI

1. はじめに

河川災害は、各々の国の気象、地形、地質、土地利用、社会経済、治水施設等により、その実態が異なってくる。Nepal国の河川災害に対する防災対策は殆ど施されておらず、毎年の河川災害発生に悩まされている。Nepalでは人口増加が土地の乱開発、森林の減少をもたらし、災害を助長しているものの総合的な防災基本計画がない段階であり、災害後の救済活動を主眼に置いていて、現在第9次国家開発5ヵ年計画に「災害管理プログラム」を入れる準備を行っている。そのNepal国についてJICAの協力により、河川災害の実態調査を行う機会を得たので、Nepalの河川と河川災害の特徴を報告する。

2. Nepalの国勢

Nepal国はヒマラヤ山脈の南斜面に位置し殆どが山岳、丘陵をなし、南部の一部にTeraiと称される平野を持つ。国の西・南・東側がインドと国境をなし、北側が中国と国境線を持つ。首都は人口約170万人のKathomandu市である。

南斜面の国土は長方形をなしており、東西885km、斜面幅約166km、総面積147,180km²で北海道面積の約1.8倍の広さを持つ。166kmの南に開ける斜面は北側から山岳部、丘陵部、Terai（平野）の三つに区分できて、それぞれは東西に延びた885kmの帯状に広がり、これはヒマラヤ山塊の造山運動によってできたものである。

三区分された各々の面積及び居住する人口は表-1¹⁾に示すとおりで、その面積は丘陵部、山岳部、Teraiの順に大きい、概して3分される。一方、人口は逆にTeraiに最も多く居住し、特に山岳部の人口は全体の7.8%にすぎず、人口の大多数はTeraiと丘陵部に2分して住んでいるが、この人口は年平均約2.1%で増加し、人口の増加はNepal国の社会問題の1つに上げられていて、山岳部及び丘陵部は既に標高2,000m級の山地斜面に至るまで農耕地として利用し尽くされており、現在は平野部に当たるTeraiへの人口の集中が進んでいる。

3. 自然災害と気象・地質

大井²⁾らはNepal国における自然災害史から、その発生頻度について次のようにまとめており、現在の災害発生事情の理解を助けてくれる。

表-1 人口の分布

区 分	国土面積		人 口 (1991年)		
	面積(km ²)	構成率(%)	実数(千人)	構成率(%)	密度(人/km ²)
山岳部	51,810	35.2	1,442	7.8	28
丘陵部	61,230	41.6	8,413	45.5	137
Terai	34,140	23.2	8,636	46.7	253
計	147,180	100.0	18,491	100.0	126

キーワード：ネパール、河川網、河川災害

*北海学園大学 工学部長（〒064-0926 札幌市中央区南26条西11丁目）

自然災害

災害要因	代表地域	発生頻度（程度）
地震	全 国	50年に1度
氷河湖の溢流	中央・東部	10年に1度
霧の発生	東部・西部	毎 年
豪 雨	全 国	毎 年
渇 水	全 国	毎 年
地 す べ り	山 岳 部	毎 年
農 地 侵 食	丘陵部・Terai	毎 年
洪水氾濫	Terai・山間谷部	毎 年

人・資産の被害実数及び被害額の災害統計は未だ整備されておらず、特に大きな洪水が発生した場合に調査プロジェクトとして個別調査を実施する段階であって、今後は各年の災害要因別の被害実態調査を実施する必要がある、これらが防災対策を計画立案するに不可欠な資料となる。

洪水災害の原因をなす年降水量を図-1に示す。Nepal国はヒマラヤ山脈の南斜面に位置して、雨量は多く4,000mmにも達する地域も見られ、それは山岳部に位置し丘陵部、Teraiでは1,500～2,000mmのところが多くこの地域は日本の降雨量と大差ない年間降水量である。

ところでNepal国の降水量は雨期の降雨量と乾期の降雪量によるが、降雪量は極めて少なく、乾期には河川水も無くなるほど雨期と乾期の河川流量の差は大きい。河川に発生する洪水のうち1年間で最も大きい洪水の発生月をNepal国西端のMahakari川について表-2に整理した。それによれば、特に7月、8月に大きい洪水が発生しており、この期間の洪水が毎年氾濫する現状にある。

地質構造は河川災害と関係する所が大きい。Nepal国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造山運動帯に位置し、その地質は水成岩を主体にしている。北側に向かう造山運動は現在も続いているものの、形成されている地質の構造線は東西に帯状に走っている。図-2は北側からヒマラヤ地質群、三紀漸新世から白亜紀の岩石、Siwalik、沖積土群に大別した各々の地質の分布状況を示しており、国土の東西方向に帯状で分布している。また、この地質区分に即して

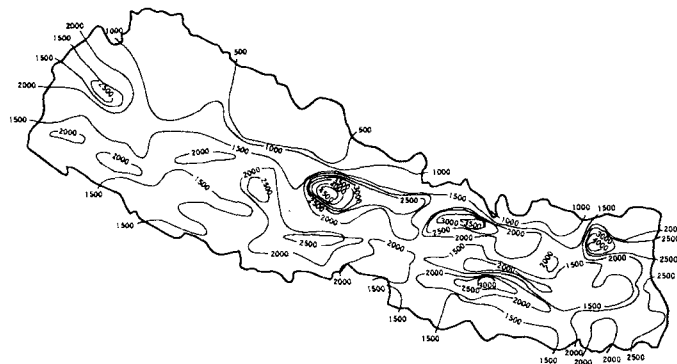


図-1 Nepal年間降水量（mm）(by G. R. Joshi)

表-2 年最大流量の発生時期（1953～1995年）

事項	月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	計
発生回数		1	13	17	8	4	43

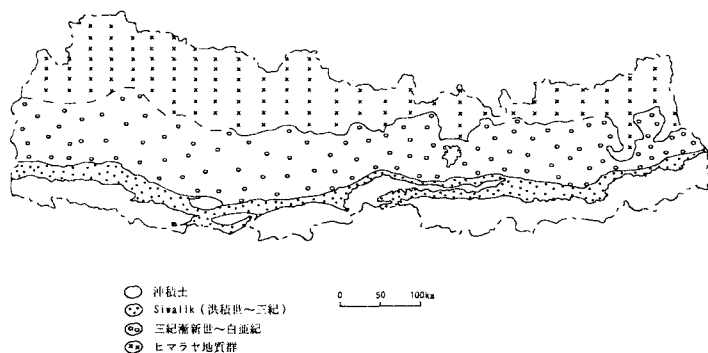


図-2 Nepalの地質

①Himaraya、②Middle Mountain、③Siwalik、④Teraiと称して、この区分方法が用いられることが多い。

4. 河川の特徴

4. 1 河道網の形成

Nepal国は面積147,180km²を有し、東西約885km、南北（平均）約166kmの長方形をしている。国土の北側は標高7,000～8,000mのヒマラヤ山脈の尾根でチベットと国境をなし、南側そして東、西側はインドと国境をなすヒマラヤ山脈の南斜面に位置している。

これらNepal国を流れる大河川の流域面積と河道延長を南側のインド国境線までの値として表したのが表-3である。

最も大きいSapta Koshi川の総流域面積は60,400km²であって、その内Nepal国内の流域面積は27,784km²で全体の46%である。同様に第2の河川Karnali川は総流域面積44,000km²、Nepal国土内面積は94%に当たる41,360km²、Narayani川は総流域面積34,960km²、Nepal国土内面積はその89%の31,114km²である。また西端を流れるMahakari川は総流域面積15,260km²、Nepal国土内面積は34%に当たる5,188km²である。

この4大河川の総流域面積は表-3の順であるが、Nepal国土内の流域面積の大きい順序は①Karnali、②Narayani、③Sapta Koshi、④Mahakari川の順と変わっており、これらは防災計画を考える場合に日本の河川で考えられない他国流域との調整を要するという課題がある。

Nepal河川の河道形状の特徴は①国土中央部で東西方向への横流路が見られ、また②南側のTerai（平野部）で河幅が急拡していることである。東西方向へ流路を持つ河川にSunkoshi川（Sapta Koshi川の支川）Bagmati川、Kali Gandaki川（Narayani川支川）、Rapti川、Babai川、Karnali川等がある。これらの河川ではいずれも地質構造線に沿って東西に直線状に流下する区間があり、またその構造線を形成する地質によってはAlternating barsが卓越する場合とBraided barsが卓越する河道に区分できる。

南側のTerai（平野部）においては、直上流側の河幅の5～20倍の規模に河幅が急拡している河川がある。その代表的な河川がSapta Koshi川、Bagmati川、Narayani川、West Rapti川、Babai川、Karnali川、Mahakari川であって、これらはいずれも流域



図-3 Nepalの河川

表-3 Nepalの主要河川

河 川 名	流域面積 (km ²)	Nepal 国土内流域面積		河川延長 (km)	Nepal国土内河川延長	
		(%)	(km ²)		(%)	(km)
1 Sapta Koshi River	60,400	46	27,784	534	35	187
1-1 Tamar River	6,125	100	6,125	198	100	198
1-2 Arun River	34,000	15	5,100	481	28	135
1-3 Sunkoshi River	19,220	84	16,145	336	76	255
2 Narayani River	34,960	89	31,114	451	100	451
2-1 Trisuli River	19,700	78	15,366	270	59	159
2-1-1 Budhi Gandaki River	4,960	73	3,621	154	65	100
2-1-2 Marshande River	4,819	100	4,819	153	100	153
2-1-3 Seti River	2,843	100	2,843	125	100	125
2-2 East Rapti River	2,993	100	2,993	122	100	122
2-3 Kaligandaki River	11,600	100	11,600	316	100	316
3 Karnali River	44,000	94	41,360	550	79	435
3-1 Humla Kamali River	8,500	65	5,525	243	53	129
3-2 Mugu Karnali River	6,155	100	6,155	193	100	195
3-3 Tiia River	3,252	100	3,252	109	100	109
3-4 Seti River	7,103	100	7,103	202	100	202
3-5 Bheri River	13,867	100	13,867	264	100	264
4 Mahakali River	15,260	34	5,188	223	100	223
5 Kankai River	1,317	100	1,317	108	100	108
6 Kamala River	1,786	100	1,786	117	100	117
7 Bagmati River	3,681	100	3,681	163	100	163
8 West Rapti River	6,215	100	6,215	257	100	257
9 Babai River	3,252	100	3,252	190	100	190

Source

- The Study on Nationwide Hydro-Meteorological Data Improvement Project Final Report August 1993 DHM/JICA
- Operational Navigation Map ONCH-9 1: 1,000,000



写真-1 森林中のガリの形成状況（Siwalik）（杉本良作氏撮影）

面積が大きく、Middle Mountain以北に水源を発する土砂輸送量が大きい河川であり、いずれもSiwalikの南端を出たところで河幅が急拡しているという共通点を持つ。日本の河川は土砂輸送量が多い河川では扇状地が形成されている場合が多いが、Nepalの河川では、Karnali川にはその扇状地が見られるものの、他の多くの河川では土砂輸送量が多いにもかかわらず扇状地の形成はなく、Braided barsが形成された河幅の広い河道で分岐流路は見られなく、特徴的な川幅・水深比が大きい河道形状を見ることができる。写真-1はSiwalik

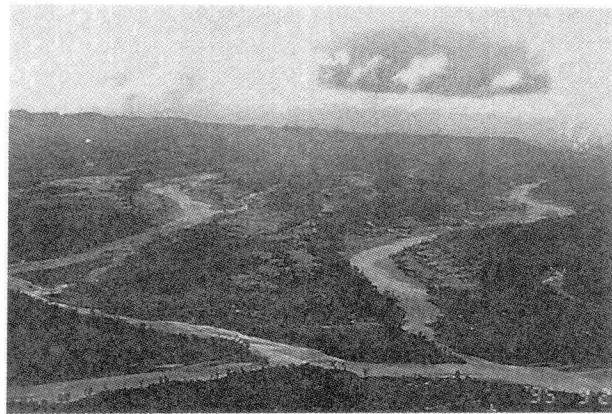


写真-2 河川中流部の河道 (Sapta Koshi川) (杉本良作氏撮影)

帯の代表的森林を示し、平地であっても樹木中ですでに土壌侵食を受けている部分が見られ、面的にいたる所でErosionが起きている。その表面侵食が起こる原因は十分に究明すべき課題であろうが、現地で森林の中に入って見ると樹木はおおむね10m×10mに1本程度で、その巨木の下層灌木が極めて少ないことが日本の混合天然林と異なる点である。その下層の灌木が少ないため雨滴または雨水により表面侵食が起こり易く、表面土壌層が安定していないことまた地質及び表面土壌の貧栄養性に起因して樹木が少ない。

4. 2 丘陵部の河川

上流域の土壌侵食により発生した土砂は河道に輸送されて、中流部の河川では写真-2に示すように河道に堆積し複雑な河道流路となる。更にTeraiに達すると河床勾配が緩やかになって堆積が進み、河床の上昇、流路の網流化が進み、皿型の河道は河幅を急に大きくしている。

Labonの調査³⁾によれば、Nepal河川の土砂輸送量は表-4に示す結果を得ており、日本の河川と比較して1オーダー大きい値を示してこれらがTeraiに到達している。特に輸送量が大きいのがKarnali川、Tamar川 (Sapta Koshi川支川) である。Arun川はチベット領域内の流域面積が全体の約85%と大きく、その流域の土砂生産条件がNepal国内のそれと比べて小さいため、比輸送量で比較すると小さい値を示している。Trishuli川も同様にチベット領域内の面積が全体の22%を占めている。

Tamar川、Sunkoshi川、Bagmati川は全流域面積をNepal国に持ち、先述の地質構造の中で土砂生産が生ずるため比輸送量が大きく、これらがNepal河川の標準的な土砂輸送量と考えられる。

4. 3 Teraiの河川

国土の中央部を東西に横たわるMiddle Mountainから急勾配で流れ落ちる河川は、Siwalik又はTeraiで緩勾配の河道となり、ここに多量の土砂堆積が進む。また河道幅は急に大きくなり、左右岸の河岸侵食が起きている。図-4は、Bagmati川のMiddle Mountainからの河川縦断形状を示している。各河川ともMiddle Mountainの標高が1,000~2,000mあるのに対して、Teraiの標高は100m程度であって、この標高差を約150kmの河道延



写真-3 洪水による水田のErosion (Bagmati川 カトマンドウ盆地)

表-4 Nepal河川の輸送土量

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

資料 Labon (1978) Field Bagmati River Erosion and Sedimentation in Nepal

長で流下するため、洪水時の流速が大きく多量の土砂を運搬する。そしてその土砂はTeraiの緩勾配河道に堆積し、又はTeraiの農耕地に土砂氾濫を起こしている。Bagmati川の平面形状はSiwalikを出てからTeraiで河幅が大きくなり、Braided barsを持つ蛇行流路が形成されている。Bagmati川では1993年7月洪水の後に横断測量がDPTCで実施され、49km区間の河床勾配は1/1,860、平均河幅1,091m、河岸高2mで $B/b = 546$ と河岸侵食が進んだ皿型の河道形をしており、また河岸高が2mと小さいため氾濫頻度も大きい河川である。

また、河床砂礫の平均粒径 $d_m = 0.3\text{mm}$ と微細砂であって、一旦堆積すると移動し難いため土砂の堆積を促している。1993年7月洪水のみで $10,661 \times 10^3 \text{ m}^3$ の土砂がTerai河道に堆積し河床高を18.2cm上昇させている。これを比輸送量で表すと $2,896 \text{ m}^3/\text{km}^2$ であり、これは流域全体の侵食深で2.9mmに相当する。Bagmati川、Mahakari川、Sapta Koshi川3河川の河道形状をまとめて表-5に示しており、山間部河幅 b に対するTeraiの河幅 B は8～17倍でTeraiで河幅が急拡しており、我が国では見られない特異な平面形状をしている。またTeraiの河岸高 h に対する河幅 B B/h は約550と極めて大きい河川である。この様な上・下流河道の違いは、洪水又は同時に運搬される土砂量の連続性において、境界条件の違いとして河道内の水理現象に影響する。それらはTerai河道の流速が小さく、洪水流は氾濫し輸送されてきた土砂はその洪水流によって河道内又は河道沿いの農地に堆積する現象が洪水毎に繰り返されている。

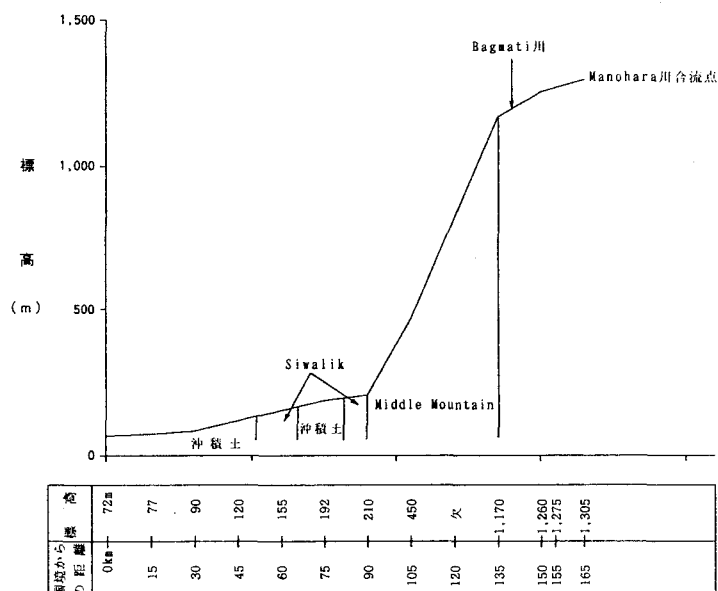


図-4 Bagmati川縦断面図

5. 河川災害事情

5. 1 1993年Bagmati川の洪水災害

1993年7月の雨期にNepal中央部Kathomandu市を中心に200年に1度の洪水と言われる集中豪雨が起り、Bagmati川流域に崖崩れ、土石流、洪水氾濫等の被害が大きく、交通路の途絶えなどで首都Kathomanduの都市機能の麻痺は長期化し、深刻な国家的ダメージとなった⁹⁾。今回被害が発生した被害実数は496,334人が被災し、そのうち死者・行方不明者は1,460名となり、世界各国の災害事例でも死者の多い洪水災害である。また、特に土石流による被害が大きかったMakkanpurでは288名の死傷者、洪水氾濫が大きかったSarkahiでは743名の死傷者と25,966haの農耕地の土地流失（河岸決壊、土砂堆積）が生じている。

このように河川災害では、Middle Mountainでは土砂害、Teraiは氾濫災害が顕著であり、その両面に対する防災対策が望まれる大きな災害となった。

5. 2 Teraiの洪水被害

河川は、中流部末端のSiwalik地帯からTeraiの平野部に流下するが、その河道形状は河幅を急拡し、かつ中州として土砂堆積が進み河岸高は2mにすぎない。Bagmati川の計画流量は $14,000 \text{ m}^3/\text{s}$ （WECS 1990年）と

表-5 Teraiの河道形状

河川名	Bagmati 川	Mahakari 川	Sapta Koshi 川
流域面積 (km ²)	3,681	15,260	60,400
流入河道幅 b(m)	130	250	380
Terai河道幅 B(m)	1,090	2,250	6,300
河道勾配	1/450~1/2,000	1/350~1/500	—
河岸高 h(m)	2.0	4.0	—
河床砂粒径 d _m (mm)	0.3	40~150	—
B/b	8.4	9	17
B/h	545	563	—

されているところに、1993年7月洪水流量はそれをしのぐ16,000m³/sであった。Bagmati川下流部のTeraiでは100～200mmであって、住民は上流域に600mmを超える雨量があったことが判らず、また最大流量が夜半に発生したため人的被害を大きくしている。Teraiの河道延長は約50kmであり、堤防などの治水施設は皆無に等しく左右岸に氾濫し、その面積は97,000haに及んだ。Hazard Map⁵⁾によれば最大氾濫水深は2m以上になり、それは河岸高の2mに匹敵する氾濫水深であるから大きな流速で河岸から溢流した土砂の氾濫量を大きくした。

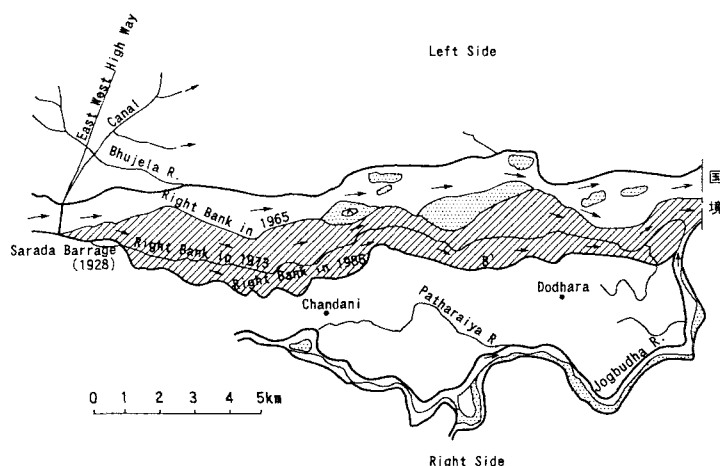
その被害は表－6に示すとおりBagmati川流域（一部他水系分も含んでいる）の被害全体のうちTeraiの占める割合は人的損傷78%、被害家屋75%、損傷土地73%と圧倒的にTeraiでの被害が大きいことを示している。

この被災実態から、Teraiの防災対策が如何に重要であるかが判る。しかし現状ではその防災防御対策は実施するに至らず、その基本方針さえ定まらない段階にある。ただDPTCにおいてFlood Hazard Mapを作り、被災対象の住民に注意を喚起していることはせめての救いである。

5.3 Mahakariの河岸侵食

Mahakari川右岸とインドとの国境の間にDodhara、Chandaniの2つの村がある。Dodhara、Chandani村は、現在Mahakari川と支川Jogbudha川に囲まれていて、かつてはMahakari川の流路の中にあっただと考えられる。それが次の時代に河筋が左岸に移動して現在の河道位置になったものの、それがまた右岸側に移動し始めている。

その移動は図－5に示すように1965年調査の河岸線が1973年、1986年と右岸へ進み、Dodhara、Chandaniの農地を侵食し続けており、これは現在でも解村を余儀なくされ兼ねないほど深刻な社会問題である。その侵食面積は1965年から1986年までの21年間に2,750haにも達し、平均的に見て1,450m河岸線が後退して、その年後退幅は69mと年々の農地の潰れが目に見えて進む状況下にある。



図－5 Mahakari川河岸侵食 (Dodhara、Chandani地区)

参考文献

- 1) 石井薄編：もっと知りたいネパール 弘文堂 平成6年11月15日
- 2) 大井英臣他4名：Final Report Cross Section Survey of Bagmati River March 1995 D.P.T.C Nepal
- 3) Labon Field Bagmati River Erosion and Sedimentation in Nepal 1978
- 4) Water Insaster Prevention Technical Center (D.P.T.C) Disaster of july 1993 in NEPAL Dec. 1993
- 5) D.P.T.C Flood Hazard Map of Bagmati in Terai