

ネパールにおける土砂災害の特徴とその対策

梶 垣 大 助

1. はじめに

ネパールは、北海道の約2倍の大きさの中に海拔100m以下の平原から8000m級の山地までを擁し、その人口は1994年で2000万人を超えている（World Bank, 1996）。このことからネパールが土砂災害危険性の高い国であることが推察される。実際、1993年には洪水・土砂災害によって死者・行方不明者1500名近い災害（Ministry of Home and Water Induced Disaster Prevention Technical Centre, 1993）が発生した。険しい山地とそれを作る脆弱な地質、強雨をもたらすモンスーン、そして人口増大・貧困に起因する傾斜農地の無理な利用や森林減少、ネパールでは自然地理的条件に加え、山地にある発展途上国に共通する問題が土砂災害を増大させている。

ここでは、ネパールの土砂災害の実態を自然地理条件と関連させて述べ、ネパールの国状に合った対策について提言する。

2. 災害の要因

2. 1 自然地理的要因

地形・地質：ネパールはおよそ東西900km、南北190kmの細長い国で、インドプレートがアジアプレートに衝突する地殻変動の激しい所に位置する。その結果、ネパールの地形・地質は東西の帯状構造をなし、主境界断層（MBT）、主中央断層（MCT）などの大規模な断層が境界を作って、大きく5つの地域に分けられる（Kenting Earth Science, 1985）（図-1、2）。

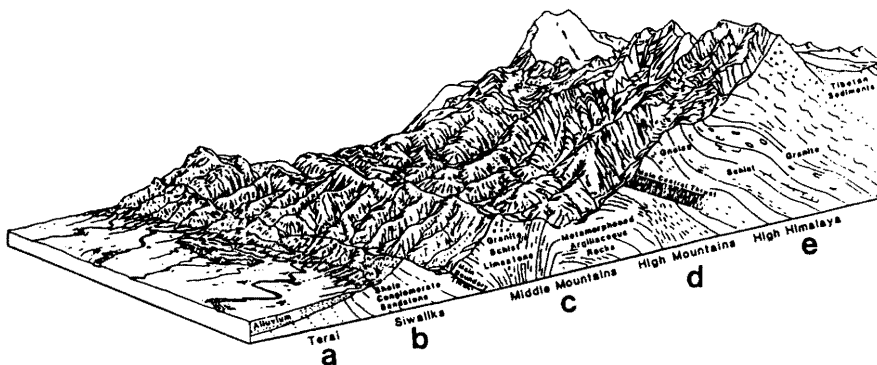


図-1 ネパールの南北断面に沿った自然地理的地域区分概念図（記号a～eは図-2に同じ）

（Kenting Earth Science, 1985）

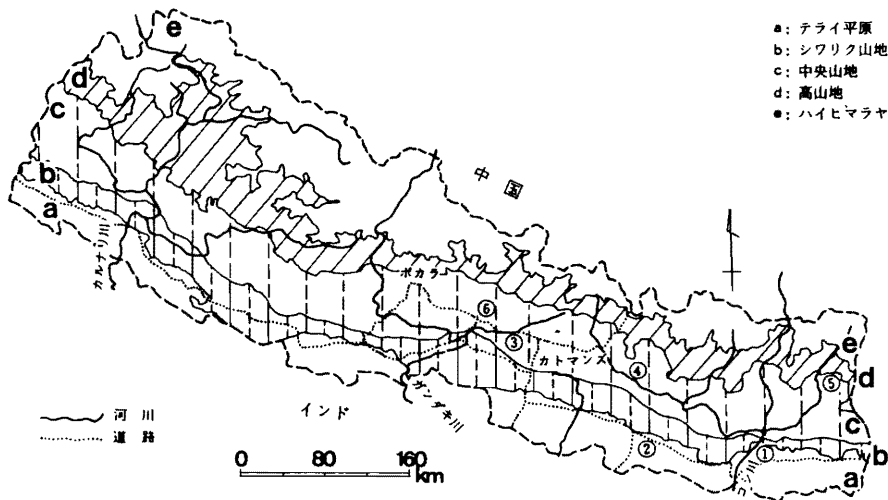


図-2 ネパールの自然地理的地域区分

(Kenting Earth Science, 1985 一部改変)

- a) テライ平原：ガンジス平原の一部をなす海拔数百m以下の平原で、第四紀の厚い砂礫・砂・泥層が沖積平野を作り、山麓では扇状地が発達、河道変化がたえず起こる。
- b) シワリク山地：海拔2000-1500mの丘陵性山地で、新第三紀から第四紀にかけ堆積した固結度の弱い泥岩、砂岩、礫岩からなるため、侵食されやすい。
- c) 中央山地：海拔2000-3000mのマハバラト山地とその北の海拔1000m内外の山地からなる地域で、主に堆積岩とそれが変成を受けた岩からなり、千枚岩、結晶片岩や石灰質岩、花崗岩からなる。ネパールヒマラヤの中では起伏の小さい部分であるが、風化層が発達し浸食されやすい。
- d) 高山地：ハイヒマラヤ前面にあり、海拔2000-4000mの山地帯で、一部氷食を受けている。変成の進んだ結晶片岩・片麻岩などからなる。e) の地域とともに氷河湖決壊による大災害を受けやすい。
- e) ハイヒマラヤ：大部分海拔4000m以上の氷河・氷河地形の発達する急峻な山地である。先カンブリアー古生代の頁岩・石灰岩や片麻岩などからなる。

ヒマラヤ山脈は第三紀以降の激しい衝上・隆起でできたとされ（木崎、1988）、山地は若く侵食も活発であるうえ、地殻変動で強い造構応力を受けた地質体は侵食に弱い。

気候：ネパールは沖縄とほぼ同緯度にあり、海拔1300mのカトマンズで年平均気温18℃と高度の割に温暖である。降水はインド洋からのモンスーンによってもたらされ、年間降水量（図-3）は、高山地より南で1500-3000mmボカラ周辺では4000mmを超え、その8割は6-9月の雨季に集中するため豪雨が発生しやすい。しかし、ハイヒマラヤの高峰の北側では、南からのモンスーンがさえぎられて年降水量は1000mmに満たない。

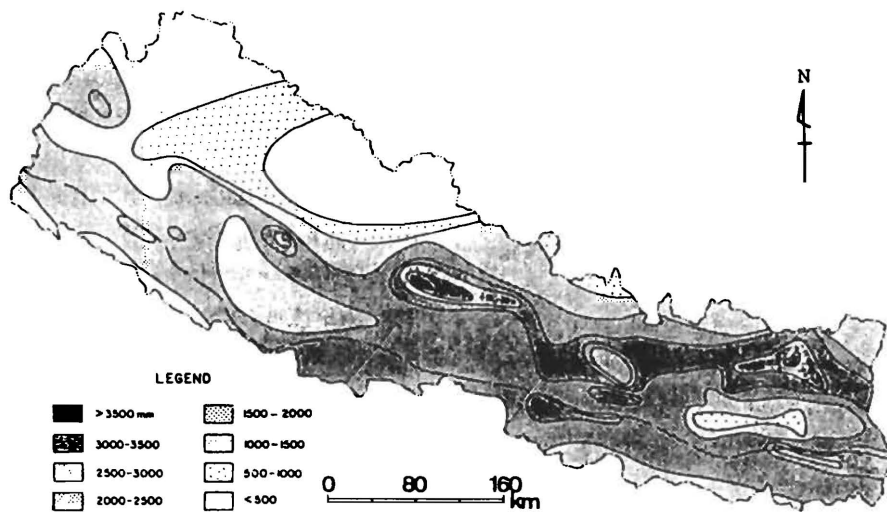


図-3 ネパールの年降水量分布図（単位mm）
（WECS, 1987）

2. 2 社会・経済的要因

国民1人当たりのGNPは1994年で200USドル（World Bank, 1996）と、アジア諸国の中でも最低レベルにある（徳丸, 1999）。また、人口は年4%の割で増加していて、慢性的な食糧不足が生じ、農地の保全・開発が重要な課題となっている。また、この国の重要なエネルギー源である薪炭採取は人口増加によって増え、少しずつ石油等代替エネルギーへの転換が進みつつあるものの、森林破壊に拍車がかかっている。

このような背景から、森林伐採や土地への負荷増大、崩壊危険性のある斜面への農地開墾などが進み、それが、山地斜面全体に展開する農地での土壌侵食や崩壊を進め、山村の貧困をさらに顕在化させる。そして、生産された土砂は下流へ運ばれ、そこで河道不安定・河床上昇を引き起こしている（桧垣, 1999）。

いっぽう、道路・水資源利用施設などインフラ整備は国家発展の最重要課題として進められているが、しばしば土砂災害に関する十分な認識の無いままに計画・設計され（防災への十分な予算手当ができないことも原因）、せっかく建設されても雨季に土砂災害を受け、施設の維持管理が大きな問題として残されることになる。

3. 各地域に起こりやすい災害

3. 1 ハイヒマラヤ・高山地

この地域のかなりの部分は、現在および氷期の氷食を受けているため、基盤岩が露出した急峻な

山容となっている。氷食によるU字谷中にはモレーン・融水河堆積物が堆積しており、それらは岩屑と土砂からなるため侵食に対し不安定で土石流の原因になりやすい。また、氷河の移動による磨耗で粘土質のマトリックスを持つことが多く、地下水供給や河岸浸食によって地すべりが発生しやすい（桧垣・八田、1999）。ネパール中部にあるムスタン郡ツクチェ村では、河岸侵食で氷河・融水河堆積物がわずかに勾配5度ほどの後退性地すべりを起こし、中心集落の土地が年々失われている（図-4）。

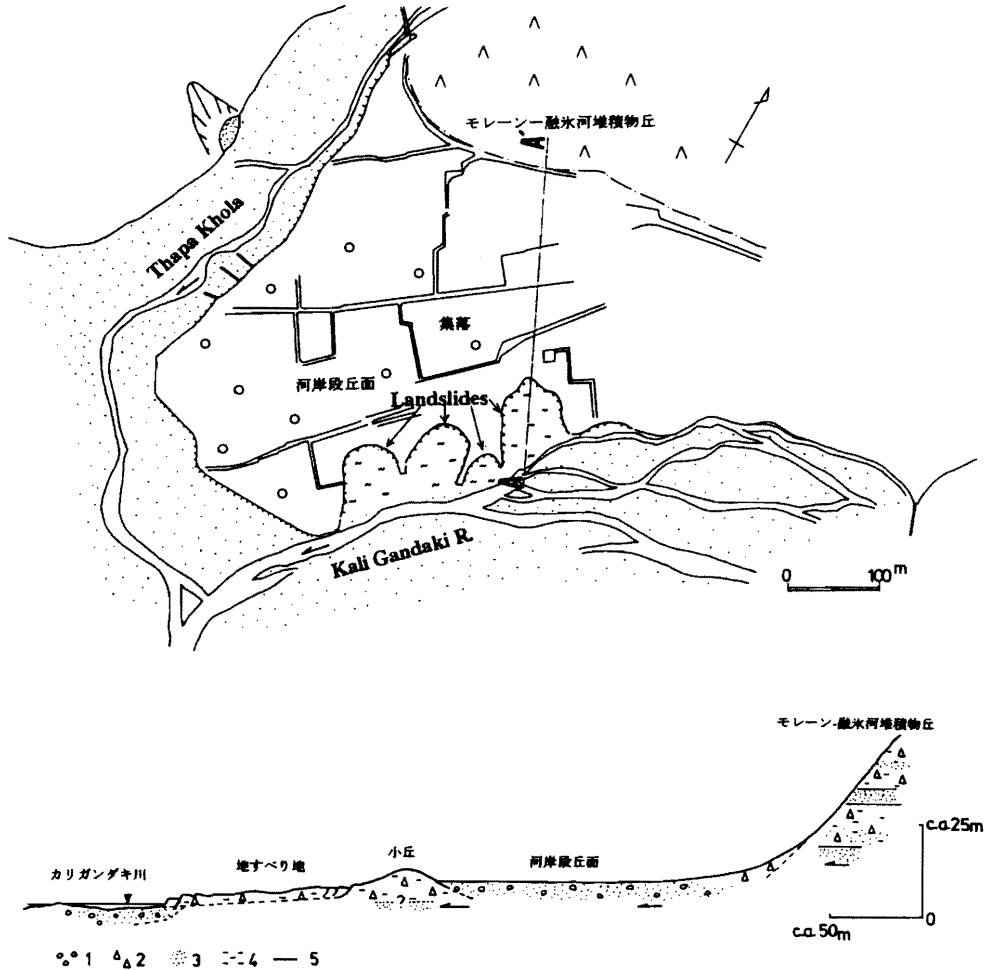


図-4 ツクチェ村(海拔2600m)地すべり地の地形(上図：平面図、下図：上図A-A'に沿う断面)
1：円礫 2：角礫 3：砂 4：シルト 5：推定地下水流動

また、カタストロフィックな災害として、氷河湖決壊（Glacial Lake Outburst Flood：GLOF）が挙げられる。Yamada（1998）によるとネパールで過去30年間に10回のGLOFが起きている。原因としては、モレーンの水圧や内部の水体融解による崩壊、氷河湖に雪崩・氷河崩壊や岩盤崩落等で大きな波がおこりそれがモレーンを越流するために生じる、などが考えられている。洪水の規模が大きいと、流域で河岸の崩壊・地すべりをも生じさせ（図-5）、それが一時的に天然ダムを

作り、その崩壊によっても下流に洪水が起こることがある（WECS, 1987）。氷河を上流に持つ河川は水資源開発上重要であるが、GLOFが大きな脅威となっている。

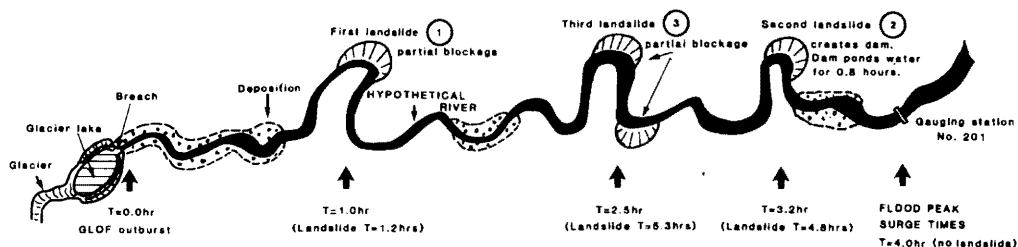


図-5 GLOF 流下によって生じる地すべり概念図（WECS, 1987を簡略化）

左端の氷河湖決壊による洪水（GLOF）波は、発生後4時間（ $T=4.0$ hr）でNo. 201流量観測地点に達する。その間、洪水流の河岸侵食によって3箇所（①、②、③）の地すべりが生じ、とくに第2の地すべりは川の流れを0.8時間にわたりせき止めたため（天然ダム）、その決壊によっても氷河湖決壊5.6時間後に流量観測地点に洪水がやってくる。なお、図中Landslide $T=1.2$ hrとは氷河湖決壊から1.2時間後に地すべりが発生したことを示す。

3. 2 中央山地

この地域は、山地に農地が広く展開し、人口密度も高く首都カトマンズと地方を結ぶ幹線道路が通るなど、土砂災害を受けやすい。

地質的に、激しい地殻変動で褶曲や断層が発達しているうえ、山地を作る堆積岩や結晶片岩など異方性を持つ岩盤が傾斜していて、割れ目が発達し、流れ盤斜面の岩盤崩落や受け盤斜面でのトップリングによる崩壊が頻繁に見られる（図-6）。また、千枚岩を主体とする斜面では風化が進み地すべりが多い。

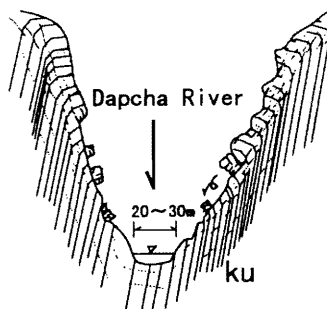


図-6 中央山地ロシ川上流ダブチャ川沿いの急傾斜したクニカリ層堆積岩に生じているトップリング（概念図）

この地域では、1993年災害に見るように崩壊・土石流で土砂災害の犠牲者が出やすく、道路交通遮断など経済インフラへの打撃によって災害規模が大きくなりやすい。いっぽう、雨季には恒例のように階段耕作の斜面で風化土や盛土部分の崩壊が起こる。また、風化層を開墾した農地では土壌

浸食を受けやすく、土壌養分の減少・農地流出が恒常的問題となっている (Tang, 1998)。

この地域には、カトマンズ・ポカラといった人口稠密な盆地が存在する。これらでは、平地が広がり土砂災害を受けにくいように見えるが、山間盆地で湖成や河成の堆積物が現在の河川によって下刻されつつあり、河川に近い所では地すべりが起こっている。ポカラ盆地の場合、そこへ流れるセティ川上流域の水河地域に石灰岩が露出するため、盆地底を作る砂礫層が石灰質の地下水によって固結している。この層は現在段丘を形成しており、そこに溶食によって深い谷ができ、谷に沿って砂礫層がブロック状に崩壊する (図-7)。1993年にはそれによってポカラ-カトマンズ間の幹線道路の橋梁が破壊され、1998年の時点でもまだ完全復旧されていない。

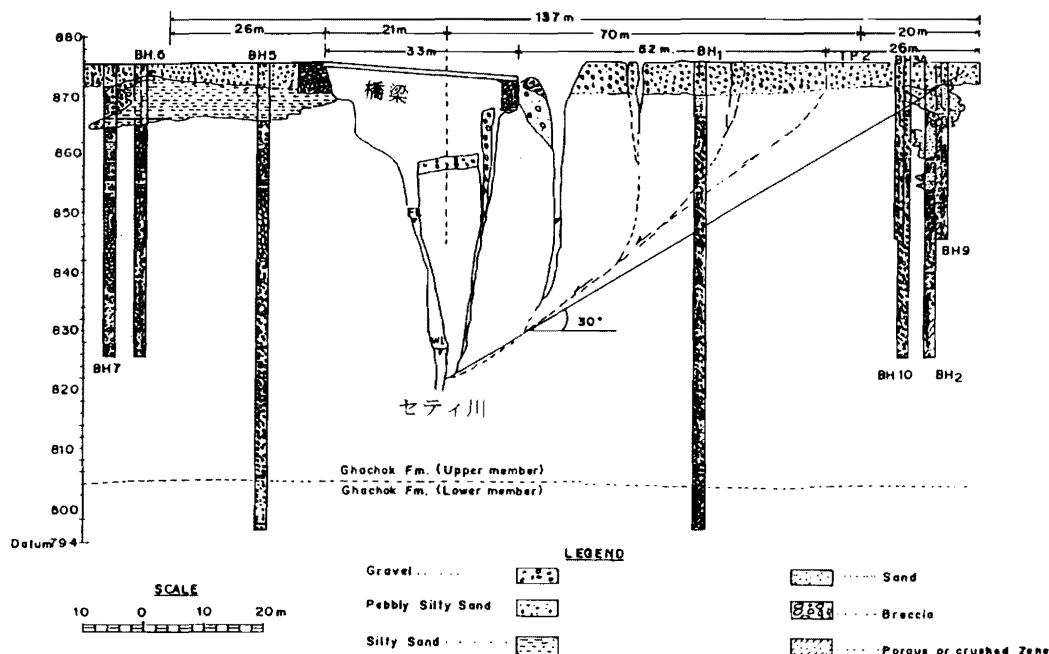


図-7 ポカラ盆地を埋めるガチョック層堆積面 (段丘) を刻むセティ川の
峡谷沿いに発生したブロック状崩壊 (Upreti and Dhital, 1996)

さらに、灌漑水路の無理な建設や管理の悪さ、無秩序な採石による崩壊・地すべりなども多く、住民の防災意識の醸成が急務である。

3. 3 シワリク山地

この地域の山地を構成するシワリク層は上・中・下部層に分けられる (Herail, et. al., 1986) が、インナーテライあるいはDunと呼ばれる盆地列の南側のシワリク上・中部層からなる地域では、最近の中央山地や高山地からの人口移動によって山地森林利用が増えたため森林状態が悪化し、未固結層からなるために、崩壊・ガリー・溪岸侵食により激しく侵食が進んでいる。また、土石流危険性の高い扇状地にも移住してきた人が住み始めている。

シワリク山地から流下する河川は、多量の土砂運搬と河岸侵食によって河道変化を繰り返し川幅

が広がっている。ネパール中部のラッカデヒ川では、空中写真判読によって、1978年から1990年の間に山地出口からテライ平原への出口付近で河床面積が15%も広がったことがわかった(図-8)。

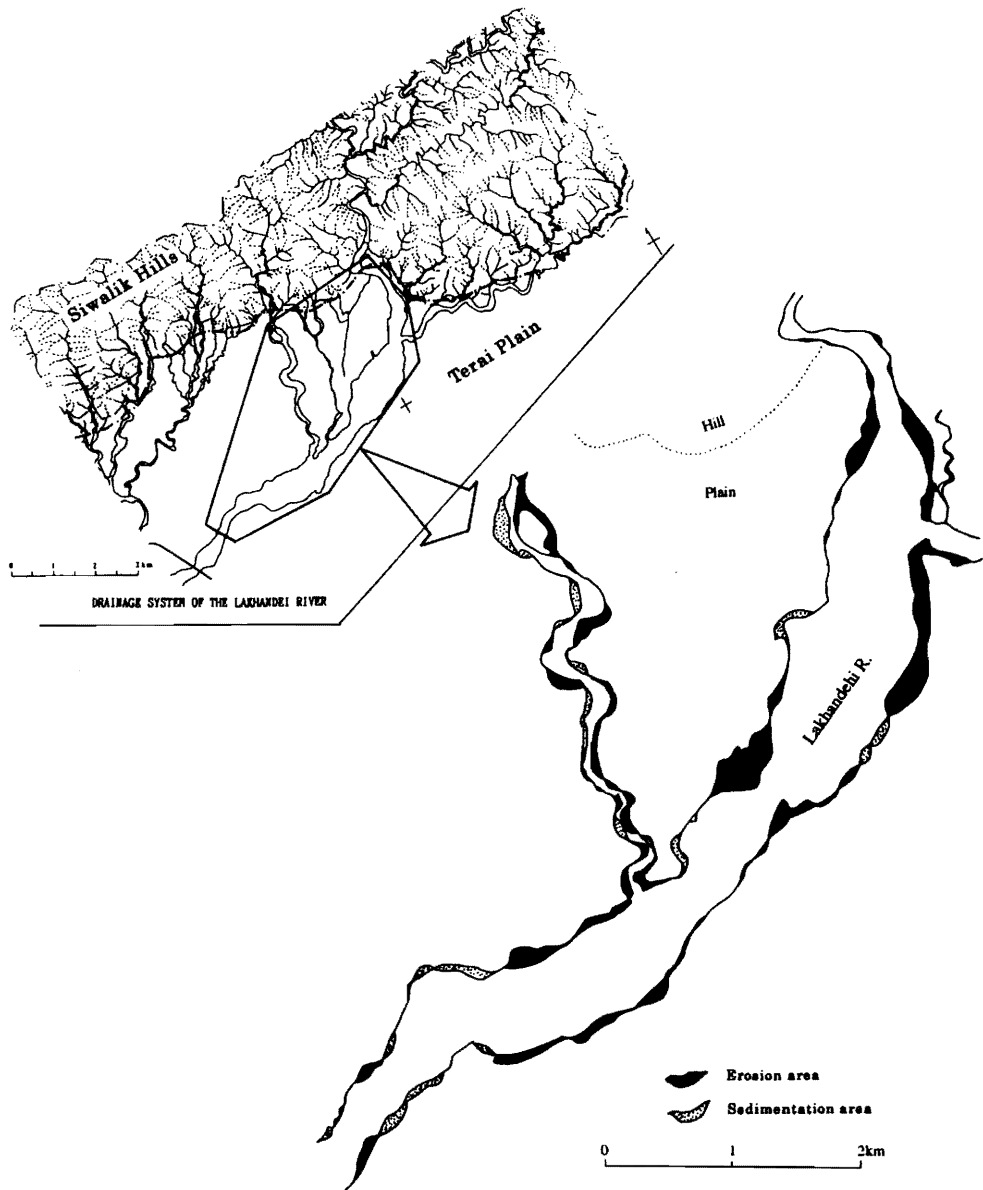


図-8 ラカンデヒ川の1978年と1990年の空中写真による河道の比較

下流のテライ平原への主な土砂流出源はシワリク山地であり、国内で地形・地質的に最も脆弱なこの地域の保全は緊急の課題となっている。

3. 4 テライ平原

この地域は、マラリアの猛威のため開発が遅れたが、今や国内の重要な食糧生産地域となってい

る。しかし、北半分は扇状地性平野で、前述したようにシワリクからの河川が運ぶ土砂で河道変化が激しく、農地流出が大きな問題である。また、河床上昇により橋梁の余裕高が不足してきているし、灌漑施設へのシルト堆積も問題となっている（WECS, 1987）。

南半部は、蛇行河川や旧河道の見られる沖積平野であるが、自然堤防は顕著でないことが多い。この地域は、そのままインドガンジス平原につながり、ほとんどの河川は堤防などの治水事業がなされていないため、雨季後半には毎年のように洪水氾濫が起こっている。

4. 土砂災害への対策

4. 1 対策の実態

この国では、基幹産業であり生活の基盤でもある農業を守るための農地保全、道路や水資源開発濾設等の国家基盤施設の保全、両者の対策が必要である。前者では、森林土壌保全省の土壌保全流域管理事業や水資源省灌漑局の事業の中で、石積・鉄線かご・植生工法を用いた工事がなされているが、ほとんどが地先の対応で規模の小さいものである。また、後者では、各インフラ整備事業の中で保全対象の重要度に応じて練石積や粗石コンクリートなども使われるが、やはり、ふとん籠や植生工法が多い。コンクリート製の擁壁や砂防ダム、アンカー工を用いた地すべり対策もなされているが外国援助によるものである。ネパールヒマラヤの山地の起伏量・傾斜は平均的に見てもわが国のそれを上回り、これらは土砂災害の危険度の高さから見てきわめて不十分な対策と言える。

これらは、ハードな防災対策であるが、住民による崩壊危険斜面での採石が道路法面崩壊を招いたり、灌漑水路の管理不足による地すべり発生など、住民の防災意識の欠如が災害を誘発する例も多い。さらに、土石流のような突発的な災害に関しては住民の危険意識が低いことも災害を大きくしている。とくにそれは最近山地内で斜面から谷底や氾濫原に移動してきた新任民に言え、1993年激甚災害でも彼らが大きな被害を受けた（田村・Gyawali, 1998）。このようなことから、防災教育・災害危険個所の把握などのソフト対策も重要であることがわかる。近年、ネパールでも国際援助機関や国際NGOが推進役となって、ハザードマップの作成（たとえばDepartment of Mines and Geology, HMG/Nepal and Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 1998; Water Induced Disaster Technical Centre, 1998）や住民レベルに向けた防災教育が試みられるようになった。

4. 2 発展途上国の実情に合った対策

極度に災害の発生しやすいネパールの自然・経済・社会の実態を考えると、有効かつ持続的展開の図れる防災とは、力で災害外力に立ち向かう対策ではなく、住民レベルで生活の中でできる対策ではなかろうか。

ネパールで進められている土壌保全・流域管理事業では、小規模な水・土砂流出対策が行われて

いる。そこでは、流域の水・土地などの天然資源のユーザーは住民であり、その管理は流域全体に広がっている住民の生活の中でなされるべきだとして、事業の計画、実施、完了後の維持管理まで住民参加による事業がなされている。具体的には、住民で施工可能な石・植生など現地ですぐに手に入る材料による崩壊・浸食防止工事のほか、階段耕作における農地の作り方の改善や、階段農地の畔部に換金性のある果樹や草を植え、土壌浸食を抑えるとともに住民の現金収入をも可能にする（図-9）などの対策が行われ始めている。

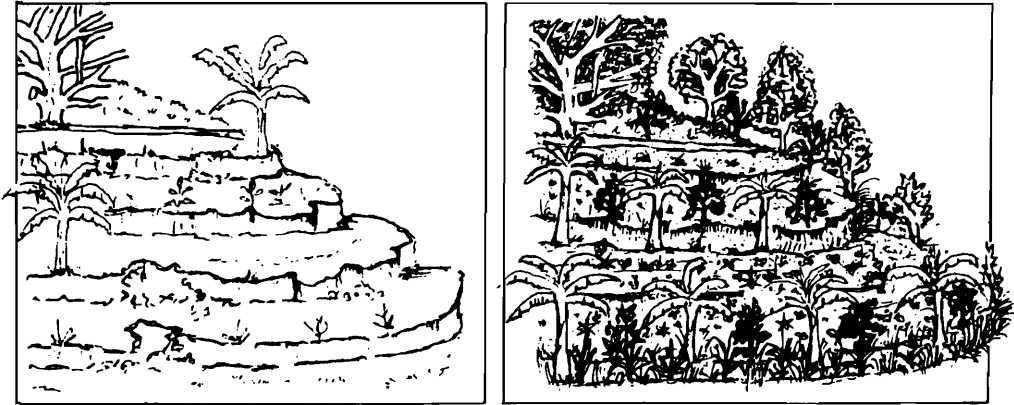


図-9 アグロフォレストリー（同じ土地で作物・家畜・樹木を組み合わせる生産する土地利用法）により階段耕作地を侵食から守る（ICIMOD, 1995）

左図の状態では雨期に土壌侵食を受けやすいが、右図では畦部に果樹等を植えて侵食を抑えている。

一例として、ネパール政府治水砂防技術センター（Water Induced Disaster Prevention Technical Centre）では、森林省土壌保全局と共同して、土壌浸食で畑作ができなくなり荒廃裸地化していた斜面で住民参加による侵食防止を図っている。これは、屋根材料として売ることのできる改良種の草種子を政府が住民に提供し、住民が植え管理する（住民参加）ことによって、土壌浸食を抑えるとともに、住民に現金収入の道を開こうとしたものである（カルキ・松垣、1998）。ただし、防災よりも明日の食事に困窮する住民には、根気良く政府職員が対話を続け、土壌侵食対策の意義と住民が参加する部分は何なのかを理解してもらうプロセスが重要である。この例に見るように、住民参加型の防災対策は、対策が住民の利益に直接そしてすぐに帰するものである方が良い。住民参加による方法は、手法を体得した住民が指導者となりほかの地域へも伝達されていくことが期待できる。河岸侵食対策として、河岸に水制も兼ねた竹を植え、その竹は籠などの材料として使うことも考えられよう。

もちろん、このような防災対策は、大きな外力には無力である。災害危険個所の把握や降雨状況からの警戒避難といったソフトな対策は人的被害の軽減には欠くことができない。そのためには住民防災教育が重要となる。

これらは非常に息の長い仕事であり、主要インフラの整備では、その施設を直接土砂災害から守

る防災対策が必要である。施設計画段階での防災地質・地形調査やそれに基づくハザードマップ作りとそれによるサイト決定手法の開発やネパール人技術者への技術移転が急務の課題である。

参考文献

- Department of Mines and Geology, HMG/Nepal and Bundesanstalt für Geowissenschaften and Rohstoffe (1998): Engineering and environmental geological map of Phokara valley (1:50000).
- Heraïl,G., Mascle, G. and Delcaillau, B. (1986): Les Siwaliks de l' Himalaya du Nepal. Livre Jubilaire P. Bordet, Les orogenes de l' Asie du Sud-est. Mem. Sc. De la Terre, 47, 155-182.
- 桧垣大助 (1999) : 川とつきあう一流域に目を向けよう一、国際協力1999-7月号、14-15。
- 桧垣大助・八田殊郎 (1999) : ネパールヒマラヤの氷河堆積物に起因した地すべり、第88回すべり学会研究発表講演集、53-56。
- ICIMOD (1995): Agricultural technologies selected by farm women in Nepal. 58p. Kathmandu.
- Kenting Earth Science Ltd. (1986): Reports-Land Resource Mapping Project. Report to HMG Nepal.
- 木崎甲子郎編著 (1988) : 上昇するヒマラヤ、築地書館, 214 p.
- K.K.カルキ・桧垣大助 (1998) ネパールにおける住民参加による土壌保全の意義、砂防と治水、122, 59-62。
- Ministry of Home and Water Induced Disaster Prevention Technical Centre, HMG/Nepal (1993): Photo album Disaster of July 1993 in Nepal.
- 田村俊和・Gyawali, B. P. (1996) : 山地から平地への水・土砂・人の動きをどうして見た1993年7月ネパール災害、日本地理学会予講集、49、32-38。
- Tang, Ya (1998): Bioterracing and soil conservation., Issues in Mountain Development 98/7, ICIMOD.
- The World Bank (1996): World development report 1996.
- 徳丸周志 (1998) : 総合報告書-ネパール経済 (MS) .
- Upreti, B.N. and Dhital, M. R. (1996) : Landslide studies and management in Nepal. ICIMOD, 87p., Kathmandu.
- Water Induced Disaster Prevention Technical Centre, HMG/Nepal (1988): Preliminary guideline for landslide hazard mapping.
- WECS (1987): Erosion and Sedimentation in the Nepal Himalaya "An assessment of river processes". Kefford Press, Singapore.
- Yamada, T., (1998) : Glacial lake and its outburst flood in the Nepal-Himalaya. Monograph. 1, Data Center for Glacial Research, Japanese Society of Snow and Ice, Tokyo.