



Title	沖積扇状地の土石分散工法に関する研究
Author(s)	東, 三郎; HIGASHI, Saburo
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 30(2), 233-295
Issue Date	1973-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/20925
Type	departmental bulletin paper
File Information	30(2)_P233-295.pdf



沖積扇状地の土石分散工法に関する研究

東 三 郎*

Studies on the Dispersion-work for Debris Arrestation in the Alluvial Fan

By

Saburo HIGASHI

目 次

はじめに	234
研究方法	235
1. 砂防ダムの防災的機能	235
2. 地表の動的観察	237
3. 自然認識の実験的方法	239
沖積扇状地と天然生林	240
1. 知床半島ウブシノッタ扇状地	242
2. 羊蹄山ナダレの沢扇状地	247
3. 大有珠南麓および昭和新山扇状地	248
4. 富士山大沢扇状地	253
5. その他の扇状地	260
a. 利尻島大空沢 ・ b. 天塩川左支冷泉の沢 ・ c. 常呂川上流白滝の沢 ・	
d. 敷生川源流マイボク沢 ・ e. 層雲峡黒岳沢扇状地 ・ f. 空知川水系	
トナンベツ川濁り沢 ・ g. 安倍川源流大谷崩れ ・ h. 島原眉山扇状地 ・	
i. 鹿児島県桜島山麓	
土石分散方式に関する実験的考察	269
1. 土石分散方式の着想	270
2. 既設工作物とガリーの变化	272
3. 施工地における実験的考察	275
4. 扇状地模型化による実験的考察	277
空間処理の意義と可能性	281
1. ガバルバンドとリンチェット	282
2. 防災空間の設定	285
a. 有珠山の施工例 ・ b. 羊蹄山の施工例 ・ c. 富士山大沢扇状地の砂防計画	
ま と め	291
参 考 文 献	293
Summary	294

* 北海道大学農学部 砂防工学研究室
Laboratory of Erosion Control Engineering, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

はじめに

森林資源・水資源・地下資源など、天然資源の開発にささえられて、低平地が高度に利用されるにおよんで、物質的資源開発から、「土地」という限定された空間の再開発が重要視されるようになってきた。すなわち人間は生活環境を総合的に検討し、無機的自然と生物と人間の各系を有機的にシステム化しなければならない時代を迎えたのである。もっとも身近かな例をとると、都市化現象にみられるように、山麓部における宅地造成は、生活環境の自然改造というはなばなしい面を見せながら、反面それに伴う種々の災害問題をひき起こしている。さすがに、山地斜面におけるこの種の災害は、おのずから人間の行為を反省させる結果ともなっているが、一見平穏な沖積扇状地においては、災害への恐怖を忘れさせるものがある。おそらく緑に深く包まれた環境と、平和な生産風景がそうさせるのであろう。このような生活・生産の舞台となっている扇状地は、古い時代に形成されたものであるが、いっぽうわが国の火山山麓にみられるような、荒々しい土石氾らん地には、もともと生活空間としての望みはかけられていなかった。しかも、火山山麓の無水地帯は、農耕にも適していないために、人間が定着する場とはなりえなかったようである。しかしながら、生活の文化的水準が高まり、レクリエーションの普及に伴って、山地利用は多様化し、自然への新しい人為介入が試みられるようになった。

地史的にみると、多くの扇状地が、第四紀とくに沖積世に形成されたということが明らかであり、なお地盤隆起に伴って、直ちに成長発達しはじめたものであるともいわれている(矢沢ほか, 1971)。じじつ、われわれは新しい火山の周辺部に、大小種々の扇状堆積地を見ることができ、その堆積地のの上流部において、土石がなまなましく移動した光景にも接することができる。したがって、過去の長い年月のあいだに、数限りなくくりかえされたであろうこの種の現象を、扇状地形成の過程として理解することもできるのである。

しかしながら、移動中の土石の実態は、こんにちまで十分にとらえられていないために、やむなく、扇状地の形態(Form)から、土石の移動過程(Process)を推論せざるをえない。その場合に、現地形の空間的要素を時間的に分析し、歴史学的な観点で総合することはのぞましい方法であるといえるだろう。

また、扇状地のの上流部に存在する源流地帯は、土石の供給源としての侵食地形をなしているために、扇状地は相対的に緩やかな地形を呈している。とくに扇状地が植生によって厚く被覆されていると、見せかけの安定感をもたらされる。

われわれは、このような扇状地の性質を十分に理解しながら、新しい土地利用の拡大を目ざさなければならないのであるが、いっぽうでは具体的な開発の手段が正しく技術化されなければ、その目的を達することはできないのである。しかし、防災的研究の立場からすると、土地利用の拡大と防災技術の進歩は相互補完的關係のうえに成り立つものであり、土砂害防止を主眼とするいわゆる砂防技術が、新しい視点から検討されることにより、扇状地の開発にも可

能性の高い構想がうまれることになるのであろう。

筆者は、砂防工学を、現場科学 (Field science) のひとつとして、おもに野外の観察と体験をもとにして考察しているが、海岸砂防と山地砂防を通じてとらえた地表変動と植生変化の直接的関係を、いくつかの扇状地においても確かめることができた。そして、生産的側面からはあまりかえりみられなかった扇状地に、積極的に介入し、新しい価値をひき出そうと考えてきた。

複雑な社会機構のなかにあって、この論文にのべる方法が直ちに実用化されるとはおもっていないが、土石分散ダムの機能と、それがもたらす空間防災の理論的根拠によって、いわゆる「土地資源」を物的利用にとどめず、多面的な空間開発の方向へ導くことができるのではなかろうかと考えている。

研究 方 法

砂防計画をたてる場合に、社会的背景を考慮し、自然的要素を熟知することは、必要不可欠の前作業であるが、実際には、この両者を明快に結合させた社会科学的、自然科学的方法はみだされていない。いっぽう、日常の防災活動はますます活発化し、社会的要請も高まりつつあるなかで、論理性のある砂防計画論が必要であることはいうまでもない。もし一般に行なわれているような自然地理学的、分析的手法のみが、計画樹立の骨子となるならば、自然史と社会史の織りなす生産および防災の問題を解決するには、ほど遠いものがある。

筆者は、砂防工学を純然たる技術学として位置づけ、人間の手によって形づくられた砂防ダムの防災的機能の限界に注目し、砂防ダムがその周辺に及ぼした影響を、歴史的に、実験的に考察し、技術的可能性のうえに立った砂防計画の新しい構想を展開しようと試みた。

1. 砂防ダムの防災的機能

発電用・農業用の貯水ダムは、工業用水・生活用水の確保と洪水防止の機能をあわせて、多目的ダムの名のもとに、高度の利水と、合理的な治水を目ざしている。したがって、ダムの構造は漸次大型化し、貯水操作は自動化され、それに伴ってダム築造の技術もいちじるしく発達した。ダムが生産手段を高めたことはいうまでもないが、周辺に与えた影響にはマイナス面も多い。ここでは、その問題にふれることをやめ、ダムという用語としては同名異義である砂防ダムを論ずるための出発点とした。

すなわち、砂防ダムは貯水ダムのように「貯える (store, reserve)」ことを第一義とするのではなく、「抑制する (control, arrest)」ことを主眼としている。貯水ダムが「水」を物質的に扱うのに対して、砂防ダムは「土石」の運動に規制を加えることを目標としている。卑近な例をとれば、「貯金」が後日の使用目的をもっているように、「貯水」は後日の有効な利用を約束する。しかしながら必ずしも「貯砂」を目的としていない砂防ダムは、こんにちまで、堆積土砂を他に利用するという利用目的はなく、かりに、現在の砂防ダムを砂利生産の手段とするにし

ても、形態上その可能性はみいだされないのである。

砂防ダムは、上流からの流出土砂を、特定の区間において抑制する意図のもとにつくられるわけであるから、個々のダムの堆砂量を超過する流出土砂量は、当然下流へ流送されてしまうわけであるが、この問題を単に量的計算で片づけるわけにはいかないのであって、砂防ダムが土砂移動に質的变化をもたらすことに注目しなければならない。一般人の間に堆砂量の大小が、砂防ダムの有効性をあらわすものとしてうけとられている場合も多く、埋没したダムが、ダム機能を失った姿であると解釈されていることもある。そして前述したように、砂防ダムが「土砂の運動」に対応する点については、往々にして専門家にもみのがされやすい点である。したがって、満砂した砂防ダムを、嵩上げ（かさあげ）することによって、その機能が回復すると考える傾向も強いのである。

いちじるしい土砂流出に対して、大型のダム構造物や、数多くのダムをもってこたえようとしても、本来山地侵食の終末を期待できるわけではないし、また、貯水ダムのように、極端に土砂の流出を阻止するならば、下流部河床の異常洗掘をまねき、沖積地欠壊や洪水氾らんなどの損失をうけることにもなる。

すなわち、溪流や河川における土石移動の実態が十分明らかにされていないままに、水理学的概念をもって、砂防ダムの機能を探ろうとしても、その本質にせまることはできないのである。

さらに、源流部の森林荒廃と流出土砂量が正比例的関係をもつという見かたにも、現実ばなれした点があり、自然の動態を、時間的に空間的にとらえる方向を誤らせているともいえるのである。流出土砂の生成源を、植生被覆によって規制しようとする考え方は、限られた範囲における相対的な比較論にすぎないのであって、いわゆる山腹工の機能的限界を示すものである。北海道において、原始林におおわれた時代に形成された扇状堆積地こそ、「植生が侵食を防止する」という命題にそむくものはないだろう。

それではいったい、砂防ダムはいかなる価値をもつということになるのであろうか。端的に表現すれば、河川の上流部に存在する溪流および旧扇状地の侵食谷の安定化をはかり、急激な土石移動に対応する点にあるということが出来る。しかし、砂防ダムがその防災的役割りを果たすためには、構造物自体に高い安全性が備っていなければならないのである。

ふつう、ダムの大型化は、必然的に強い地盤支持力を必要とし、ダムサイトの選定条件に不可欠の地質的要素がはいる。さらに、河川や溪流において経済的構造物をつくるためには、地形的にみてより狭い部分を選択することになり、貯水ダムにみられるように、堅い地盤の狭さく部を適地としなければならない。このような発想は、現実にもみられるように、土石移動のはげしい溪流や扇状地において、ほとんど展開できないものであり、より下流側から発達する経済諸施設を防災の対象とする場合、地理的位置に照しあわせてもわかるように、そのような場所に堅固なダムサイトは存在しないのである。とくに、扇状地のように若い堆積物には、岩

盤の露出はみられないといってもよい。

つぎに、砂れきの厚く堆積した溪床に、砂防ダムを設けた場合、ダム上流部に予期したとおりの堆砂をみても、下流部は洗掘されるために、ダム自体の安全性が失われるばかりでなく、ダム下流部の堆積物を下流域へおし流し、下流防災の真意に反することにもなる。ダム前庭部の洗掘問題は、古くから研究されてきているが、これまでその対策としては副ダムを併用するだけであった。そして副ダム自体の規模によっては、さらに2次・3次の副ダムを必要とするようになる。砂防ダムの安全性を保つために副ダムを設けるということが通常化されるならば、防災の手段であるべきダムが、目的化される結果ともなりかねない。しかも下流部溪床にいちじるしい変化を与え、当初の目的に逆行して土砂流出を促進することにもなる。

つまり、これは材料の変化および築設技術の進歩がもたらした大型ダムを、構造物中心にみていくか、機能的側面からみるかのちがいによってひき出される重要な問題点である。もし扇状地を対象にするならば、従来の考え方に反省の余地があろう。それには、水の流れと土石の移動に分析的な検討を加えるとともに、人為介入の結果を総体的に判断することからはじめなければならない。砂防ダムの機能は、本来ダム周辺の溪床を安定させることにあるから、元来変化しやすい溪床にいっそうの変化を与えるのはまちがっているといえる。まず1本の勾配線によって溪床縦断面をあらわし、ある期間の勾配差によってダムの調節機能を表現しようとしても、客観性のある情報とはならないことを知るべきである。これまでになされた多くの砂防ダム研究が、構造物中心のみかたに偏っていたために、ダムのもつプラスとマイナスの効果は明らかにされず、無批判なダム効果の期待と、ダム無用論とが論点の両極をなしていた。こんにちでは多くの経験から、土砂害予防に即応した砂防ダムのあり方があらためて検討されるようになってきたが、本来地域性の強いこの種の問題に関しては、新しいダム理論を展開しなければならないだろうとおもわれる。

2. 地表の動的観察

現在の地表形態を観察し、それによって過去の動的過程をとらえようとする地形学の方法は、少なくとも1年以上数100万年におよぶ時間スケールで論じられるのがふつうであるが、現在の事象としての災害問題には、人間が自然改造にのりだしたここ数100年の地表の歴史を知ることによって、未来を展望するのに有効なものとなるだろう。

歴史家は、過去の事実の痕跡としての史料(古文書・遺物)を通じて、過去の事実を探るために、史料の収集を、歴史研究の第一段階としている(堀米庸三 1969)。その歴史研究と全く同じように、われわれ防災研究にあたる者にも、長い年月の間に、地質条件は地形に反映し、地表の動きは地上の植物群に表現されているという見地から、現在の地表状態の観察によって、それに到達した過程を推論できるのである。

たとえば、火山灰層の存在を年代的に明らかにする火山灰編年学(Tephrochronology)や、年輪解析により過去の環境変化を知る樹木年代学(Dendrochronology)が、現在の時間単位の

手法として有効になればなるほど、地表の歴史は明らかになるのである。筆者(1970)はこの種の野外観察を、歴史学的方法と称し、最近の地形変化のプロセスを探ろうとしてきた。つまり、自然界に起こっている複雑な現象を、時間軸のうえで分析し、かつ総合しながら、解釈することの妙味を知ることができた。

砂防ダムに関係のある地表の動きといえ、とりもなおさず水と土石の混合した物質の移動現象であるが、これはまだ十分に明らかにされてはいない。したがって、土砂害をこうむった数多くの悲惨な災害現場に立合っても、いたずらに大量の土砂の堆積状況に圧倒され、悪の元凶を豪雨にしたてるだけで、歴史的過程を見のがしやすいために、土砂害予防の新手はあみ出されないままに終わってしまう。

さきに述べたように、時間分析の手法は、この難問を破るきっかけになったのであるが、さらに、水および土石の運動を、それぞれ個別に扱い、混合物質となる条件を、時間的に整理して考察することによって、地形形成の過程を概念的にとらえることができるとおもわれるのである(東, 1970)。

図-1は、流下性すなわち拡大性をもつ水と、崩落性および堆積性をもつ土石とが、地形的条件に制約されて、流動性を帯びたり、分散し堆積する現象を模式化したものであり、さらに土石の堆積性に関連する植生の成立を加え、現存する植物群を意味づけたものである。現実の洪水が山地から平地を通過して、いっきょに海に流れこむのに対して、土石は諸所に停滞しつつ移動するものであることは容易に理解できるのであって、いまさらとりあげるほどのことでもないのであるが、木本群落の形成される基本的要素を明らかにすることにより、従来の植物学関連の諸科学が見いだしえなかった地球科学的側面にふみ入ることができるのである。端的に

いえば、樹木の年輪数が「時間」を、樹木群の広がり「空間」を示すために、その土地の変動の歴史を推定できるとするものである。

この方法を扇状地の地表形態とむすびあわせて考えるとき、わが国の火山山麓にみられる生々しい沖積扇状地に、比較的若い先駆広葉樹の群落が形成されていることは、地表の動態そのものを示しているといえるのである。この傾向は、砂防ダムによってもたらされる堆積現象にも直接関連し、とくに時間の明らかな過去の人為介入の影響を読みとるうえにも、きわめて有効であり、つぎに述べる実験的方法により高い信頼性を加えるも

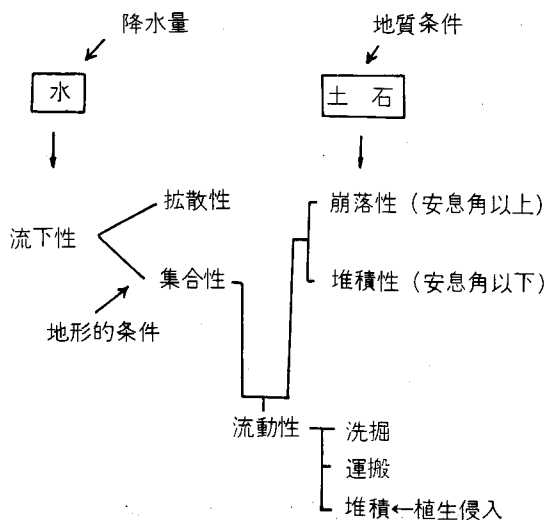


図-1. 水の流下と土石の移動

のとなるのである。

3. 自然認識の実験的方法

水理学の研究分野においては、一般に模型による実験が行なわれ、流水現象の詳細な分析的研究がなされている。これは特定の構造物を想定して、構造物と水との関連を追求するわけであるから、自然のままの水の運動を探り出そうとする意図を含んでいるものではない。したがって、土石の移動を中心課題とする砂防問題のなかで、流水現象のみをとり出してみても、砂防ダムの機能や地表空間の動態について、正しい認識はえられないのである。

現在まで、土石移動に関する模型実験は、使用材料の縮小化に難点があり、水理実験にみられるような模型化がはばまれてきた。つまり自然の地表形態を縮小する場合に、いちじるしい質的变化を伴うために、実験室におけるいわゆる「室内実験」は、自然認識を深める方法とはなりえなかったのである。

砂防工学において、野外科学としての観察を重視しなければならないのは、上記の理由にもとづいている。なお、現場の観察にはつぎにのべるように、実験的方法という実践的行動に伴って、しだいに高次化していく性質をもっている。

筆者は、実験的方法という科学的研究方法として、自然に働きかける人為的介入(生産行為)をとり入れてきた。具体的には、砂防ダムの築設とか林帯造成のような環境改造の事業を一種の大型実験とみなしているのであるが、一連の生産行為そのものを実験的手段として、時間的に空間的に考察し、その事業の当初計画との間に生じた「ずれ」の原因を追究しようとしているのである。この方法は室内実験に対する野外実験という「実験場所」のちがいをいうのではないから、「試験地・試験林」などのように、たんに模型の拡大を意図しているものではない。

実験医学の祖といわれるクロード・ベルナルの著した「実験医学序説(三浦岱栄, 1960)」によると、「実験的方法とは、われわれの構想を方法論的に、事実の経験に照合しようとする一つの推理のやりかたにはかならない」とし、「観察とは事物あるいは現象を、自然が平素われわれに示すままに検証することであり、実験はこれに反して、実験家によって創作あるいは決定された現象を検証するということである」と、自然への積極的な働きかけについて意義づけをしている。

また、井尻正二(1967)は、「科学論」において、実験的方法について、「……現在の世界では、見かけのうえでゴチャゴチャに生起しているいろいろな事象に、人為的な操作や手段をほどこすことによって、手ばなしの、自然のままの変遷の過程(自然の発展過程)では、いまだおこっていない事象をえぐりだし、かつ、強引に(実践的に)生成展開させるという、人間の積極的な行為を意味している。」とし、井尻が古生物学の研究で実際にこころみている方法は、つぎのような方法論にもとづいているとのべている。「歴史科学の理論的な研究によって、みちびきだされた法則や理論によれば、見かけのうえでは、ゴチャゴチャに存在している事象のうちで、どれが必然的な要素であり、どれが偶然的な要素であるかを識別し、現在のままでは、

どれもが、なんらかの現実性に発展する可能性にとどまっているこれらの要素の、段階づけ、価値判断をしようというのである。そして、自然の発展のつぎの段階(現在から未来にかけて)、これらの要素のうち、どの要素が必然性に発展するかの見とおしをえて(仮説の段階)、つぎに、このような見とおしを作業仮説として、はたして自然の事象は、そのように生成発展していくかどうかを、研究者自身が実験することによって——偶然的な要素をとりのぞき、必然的な要素を実現して——法則の実証をおこなう(生成発展の過程を展開させる)、という方法である。」

以上のような考え方を参考にして、筆者は、扇状地の土砂害予防の問題を解明するにあたり、実験的方法として、つぎの2つ方法をとった。

- a. 現場における既設ダムの影響(築設時点が明確である)を、大規模な実験装置として、長期間にわたり観察する。
- b. 現場の状態を模型化し、部分的な現象を再現し、短期間くりかえして観察する。

この2つの実験方法は、相互補完的に発展するものである。すなわち、扇状地における野外観察からは、ダムによる地形の変遷を、洗掘現象と堆積現象の個別の現象にわけて考察することができる。そして、その特徴は分離された個別の現象として、他の条件を整えることによって模型化することができるのである。

砂防ダムは破壊されない限り、その地点の侵食を規制する。そして水平直線的な非侵食線は、天然に形成されるようなものではなく、きわめて人為的な独特のものである。したがって、このような非侵食線を、多面的に配置することにより、ある限度内で立体的空間の運動に介入できるのである。

扇状地が形成されるには、相対的に上流部からの流出土砂が多くなければならないが、これまでのところ、その大量の土砂移動の実態は明らかにされておらず、筆者にとってもまた、いわゆる土石流なるものの運動については、想像の域をでていないが、生成・発展・消滅したといえる土石流の最終的な停止状態を検討し、消滅段階での人為介入に計画性をもたせ、なお、累積された堆積形態の2次的侵食を妨げようところみているのである。

このような問題を処理するにあたって、従来砂防計画で行なわれた渓床縦断勾配にもとづく方法は、立体的空間を、客観的に表現するほどに至っていないので、はなはだ多くの誤りをおかしやすい。筆者は、扇頂を通る中心線に直角方向にとった数カ所の横断面を図化し、それによってもたらされた3次元的空間の形態を、有力な情報として生かすようにしている。

沖積扇状地と天然生林

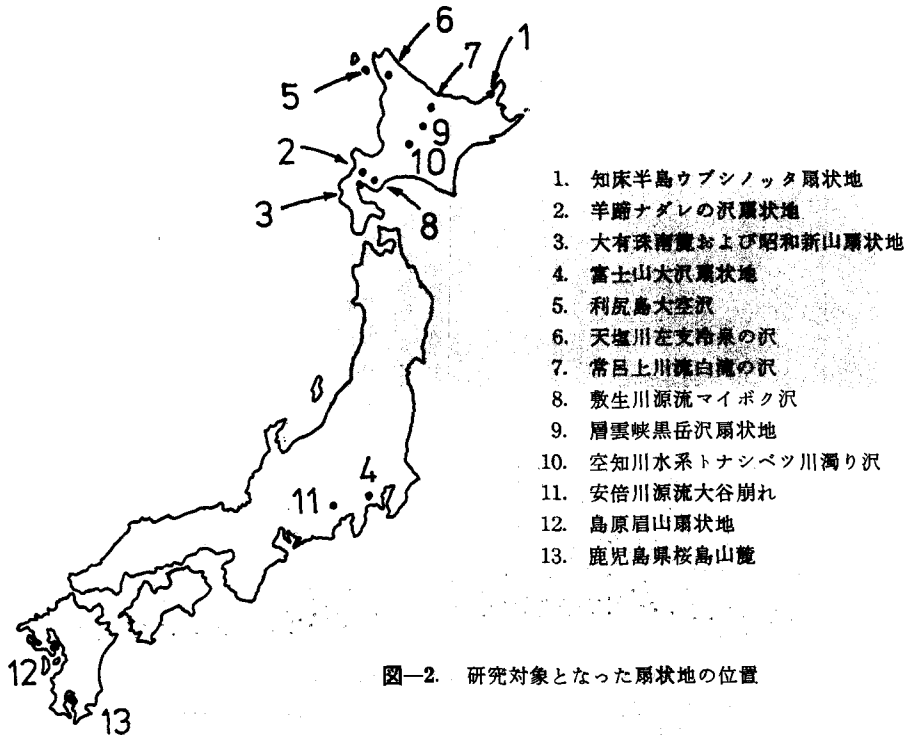
扇状地の形成には、ヨーロッパアルプスのように気候変化によるものや、わが国の場合のように、火山活動や地盤運動に原因するものがある(西村嘉助, 1969)。地形的にみると、溪流の出口に形成されるのは、渓床勾配の変化によるという説と、河幅の変化(実際には溪流外の広

い空地) によるという説がある。阪口豊 (1971) は、W. M. DAVIS が、扇状地形成の前提条件として、「十分な広さ」をあげ、わが国の地形学者である辻村太郎・大塚弥之助・渡辺光は、谷底傾斜の急減説と対立していることを指摘し、DAVIS 流の考え方に賛意を示している。

筆者 (1970) は、野外観察の結果、まったく経験的に、「溪流の出口における急激な広がり」が、扇状堆積の必須要因であるとし、その後も、その経験法則を、後述するような土石分散ダムへ適用している。したがって、筆者の考え方は対象流域の大きさに左右されず一般化できる条件として、DAVIS 流の考え方に一致しているといえる。

研究方法で述べたように、土石移動のダイナミックな形態は、水の作用による流動現象である。その生成・発展・消滅の過程は、地形的条件に左右されるといえる。すなわち、谷そのものの構造は、地質学的営力によって決定され、それに応じたその後の侵食が、つぎの地表形態を形づくっているのである。扇状地は、上流から供給される大量の土砂によって形成されるわけであるが、扇状地に到達する土砂量が、一定の周期性をもつわけではない。これは、風化岩屑の生成速度と降雨の不連続性によるものといえる。したがって、溪流の出口まで運び出される土砂量は、いちじるしく多いこともあれば、ゼロに近いこともありうる。この現象は一般に、溪流のどの地点においても起こるが、溪流の出口つまり扇頂部の場合には、前回までの堆積物の状態によって、複雑な変化をみせる。

よくいわれているように、扇状地の「首振り現象」とは、流路の一定しないことをさして



図一2. 研究対象となった扇状地の位置

いるが、これは扇頂部に到達した岩屑や大転石の存在によって、流心方向が急変するため起こるものである。また、水量の多い場合と少ない場合とでは、旧堆積地の洗掘状態が異なり、地表の凹凸・屈曲は多様である。しかし、大量の土石が放出されたあとの扇状地は、横断面図に描くと、中高のレンズ状となり、周辺部に細粒土砂が堆積しており、ほぼ中央線にそって、新しい流路が刻みこまれている場合が多い。これは、土石流といわれる土石中心の流動物質を押し出す排土板（ブルドーザーの前端）とそれにつづく流水の作用によるものとおもわれる。これについては、実験的方法によって考察することとし、ここでは筆者が観察した扇状地の数カ所について、地表形態と天然生林の構成をのべ、現在の形態から、樹木年代学をとおして、過去の状態を推論することとした。

図-2は本論文で紹介した扇状地を、ごくおおまかに位置づけたもので、本文では、知床半島ウブシノッタ扇状地、羊蹄山ナダレの沢扇状堆積地、大有珠南麓および昭和新山扇状堆積地、富士山大沢扇状地などの火山山麓の扇状地を個別に説明し、堆積岩地帯の扇状堆積地を含めた数例を参考として述べた。

1. 知床半島ウブシノッタ扇状地

アイヌ語の「ウブシ」は「トドマツ」を、「ノッタ」は「突きでたところ、みさき」を意味するとのことであるが、オホーツク海に面した知床半島の中央部に、ウブシノッタ扇状地があり、そこは天然生のトドマツ林におおわれている。この扇状地は、硫黄山に源をもつ延長

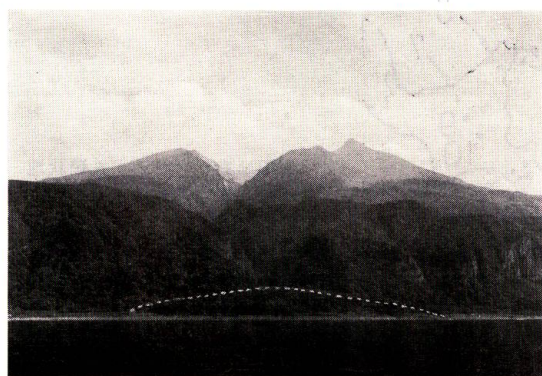


図-3. 知床半島ウブシノッタ扇状地（破線）、背後は硫黄山

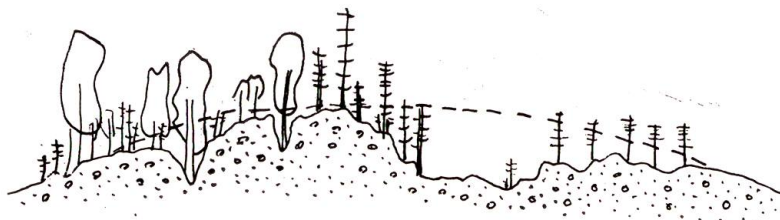


図-4. ウブシノッタ扇状地の横断面模式図

トドマツ群落旧谷にはエゾマツ、ミズナラの大木（推定樹令300年）がある（図-3）参照。

6.5 km のウブシノッタ川の川口に当たり、奥行約 500 m (海面より上部)、最大幅 1000 m の扇形をなし、海面上はるかに真正面からみると図-3 のようにレンズ状に上方に向って凸形を呈し、樹林におおわれているために、その外観はおだやかな円弧状の林冠によって縁どられている。しかし、林内は乱雑な凹凸地形や不規模なガリーが発達し、図-4 に模式的に示したように、扇状地の中央部横断面には、流路跡がみられ、現在の溪床は、しだいに側方にひろがりつつあるが、いずれ流路が変われば古谷となる運命にある。図-5 は、トドマツ・ミズナラの混交状態を示したもので、生育地点の高低差や、樹種の混交状態から、洪水時の氾らん、洗掘後に侵入し、定着したものとみることができる。図-6 は 1965 年 9 月に発生した 45 年振りの集中豪雨の際に形成された扇頂部における土石の 1 次的氾らん堆積状況である。おびただしい岩塊と流木は乱雑に堆積し、一部は下流側のトドマツ林になだれこむように押しよせている。

この扇状地は、1967 年知床林道開設に当たって、上流部が人為的に攪乱されるまでは、まったく自然のままに形成されてきたのであり、扇状地の形成過程を探るのに好ましい場所であった。その条件のひとつには、扇状地面の森林構成に、従来の学説では解釈できそうにない事実が秘められている点である。すなわち、1965 年 9 月の集中豪雨によって洗掘された溪床や、その際土砂が氾らん堆積した林床には、同年の秋に落下した種子とみられるトドマツの稚苗が発生しており、図-7 に示すように、同じような経過をたどったとみられる約 10 年生のトドマツの稚樹が群生し、洪水発生年代を物語っているからである。このような年代差をもつトドマツ群落は、団地状に



図-5. 扇状地の堆積部、高所にみられるトドマツとミズナラ



図-6. 扇頂部の土石氾らん状況 (1965 年 9 月豪雨)



図-7. 海面に突出した扇端部とそのうえのトドマツ (推定 10 年生) 侵入状況

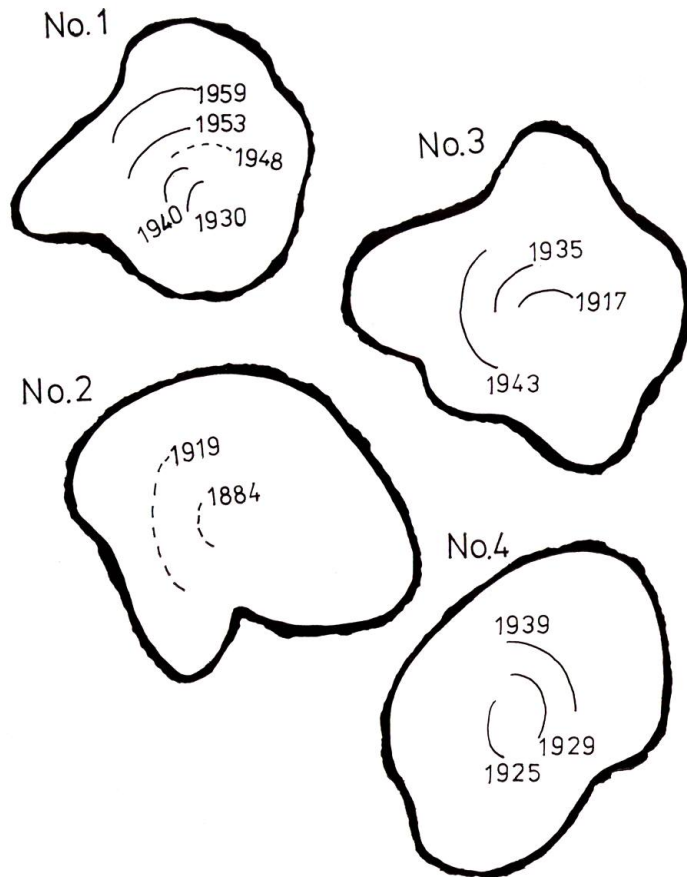


図-8. 扇状地のトドマツ樹幹に刻まれたアテ(実線)と傷痕(破線), 最外周年輪は1966年

散在し、さらにミヤマハンノキの群落が、よりいっそうこみいった集団をなして、新しい流路の側方部に生育している。図-8は70~110年生のトドマツ生立木に認められるアテ材の模式図



図-9. 扇状部の現流路とその右岸の欠壊状況

である。これは地表が2次侵食を受けたために、樹幹が傾斜し、その年代にアテ材が形成されたことを示している。林内に残された大小のガリーは、氾らん土石流の岩塊堆積部分より下流部に発達し、そこにはミズナラの稚苗が認められる。このような状態は、現存する300~500年生のミズナラの大木が、同じような現象のもとに、かって侵入したことを示すものである。

図-9は、現在の主流路の右岸の欠壊状況を示したものである。かつての氾乱堆積物のうえに形成されたトドマツ林が、堆積物もろともに再び洗掘破壊されている。樹木の存在は、その地点が洗掘をまぬがれた年数を示すわけであるが、これは扇状地が全面的にたえず一様な侵食を受けるものではないことを物語っている。

ウブシノッタ扇状地は、海岸に形成されているために、過去長い年月の間におし出された大量の土石は、海底深く累積し、氷山の一角のように、見せかけの扇端部をのぞかせている。その光景は図-10に示した。もし内陸部に形成された扇状地ならば、扇状地そのものが侵食されると、下流部へ土砂害をもたらす土砂の供給源となるのである。



図-10. 扇端部における流出岩塊の堆積状況

2. 羊蹄山ナダレの沢扇状地

エゾ富士として世人に親しまれている羊蹄山は、その名の示すとおり、富士山に類似した単独峯の秀麗な地形をなし、火山独特の山麓沖積面を形成している。羊蹄山には、大小20数本のガリーが放射状に発達し、その谷は年々深く刻まれつつあるが、1953年夏の豪雨に際して、北斜面のナダレの沢には、大量の土石が押し出し、典型的な扇状堆積地が形成された。その堆積地は、100~500mの幅で、1,200mの奥行をもっている。

図-11はナダレの沢扇状堆積地の平面図である。この図には、堆積後主流路となった2本のガリーについてあらわした。植生侵入は、この2本のガリーを除く部分にみられるが、ガリー内は、溪床はもちろん側壁の部分で、たえず土砂の流亡・崩落がくりかえされるために、荒々しい裸地が更新されている。参考までに1961年にころもみた標石(レンガ)の移動を示しておいた。

図-12は、1959年から1962年にかけて調べた堆積地の推移を、横断面図によって示したものである。上流から供給される土石に影響され、堆積地の流路は変化しやすいが、扇頂部に到達する土石が少い場合には、既存のガリー内において、溪床と側壁が洗掘され、その部分において構成された流動土石は、連鎖反応をひき起こして、流路を拡大し変化している。図にみられるように、流路断面の年とごの変化が、底部よりも側壁においていちじるしいのもそのあらわれである。

1958年以降、村井・東・藤原(1963)、藤原・村井・小野寺(1968)の調査によると、堆積地には、カンバ・ヤナギ類・カラマツが侵入し、オオイタドリなどとともに、先駆植物からなる旺盛な群落が形成されていることがわかった。表-1に出現頻度の高い種名をかかげたが、このような植物は、その後に観察した北海道内の新しい扇状地や溪流堆積地の初期植生とほぼ同

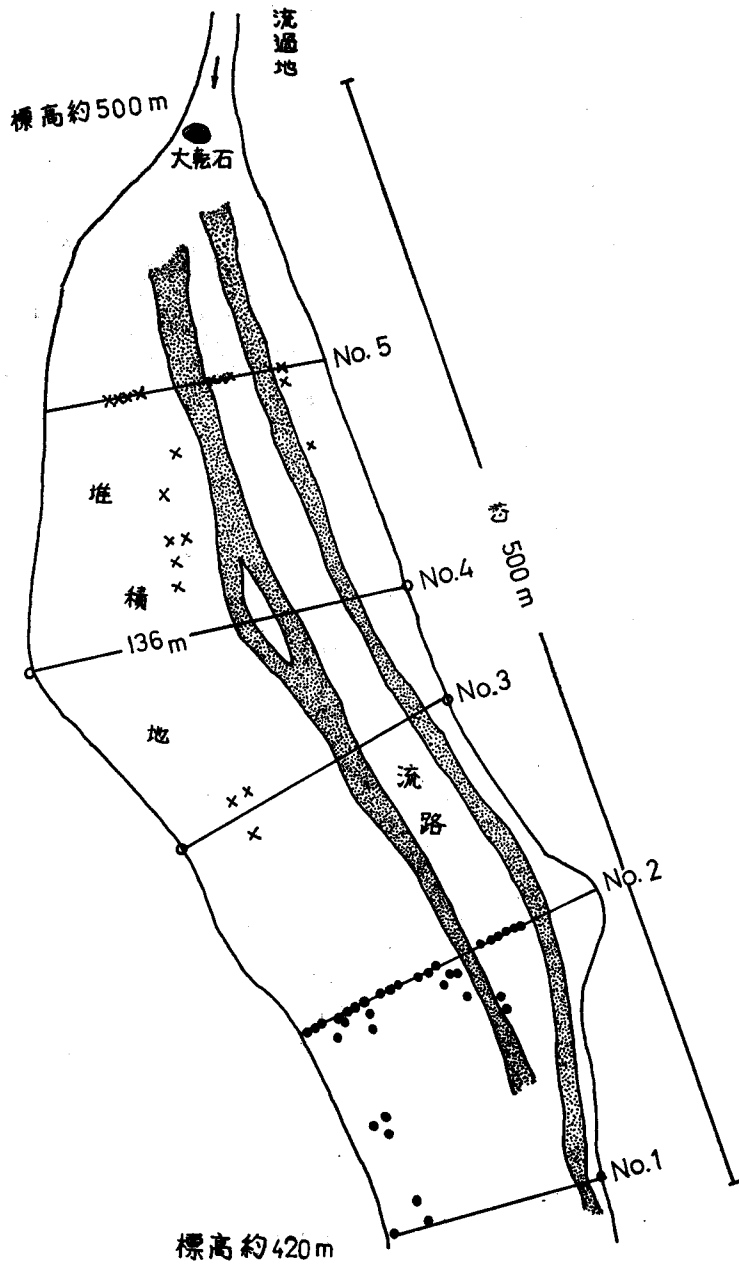


図-11. ナダレの沢堆積地標石移動図 (1961. 9. 25)

×印 No. 5 に並べたレンガ (50個)

●印 No. 2 に並べたレンガ (119個)

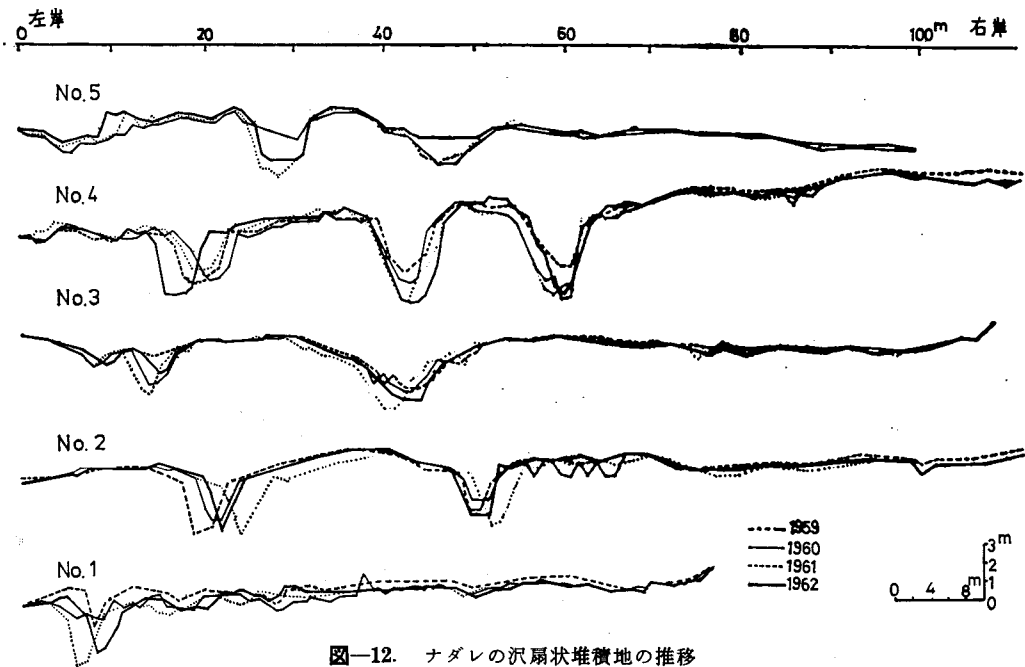


図-12. ナダレの沢扇状堆積地の推移

表-1 羊蹄山ナダレの沢氾らん原の侵入植物 (2m×137m)

木 本 類	本 数	草 本 類	本 数	草 本 類	本 数
ダケカンバ	334本	オ オ ブ キ	578本	ミ ツ パ	8本
ハルニレ	167	エゾノタチツボスミレ	379	ハチジョウナ	8
トドマツ	60	イチゴの類	297	エゾメンマ	8
ヤチダモ	48	ヤマハハコ	189	ツクパネソウ	7
オヒョウ	16	ヨツバヒヨドリバナ	122	ヨツバムグラ	6
ナガバヤナギ	15	ス ゲ 類	71	イワガラミ	6
イタヤカエデ	11	サ サ	61	シ ダ	5
タラノキ	10	オオイタドリ	53	ヒメジョーン	5
ナナカマド	8	ヂシバリ	43	ワ ラ ビ	4
カラマツ	7	タンポポ	32	ア サ ダ	2
バッコヤナギ	5	エゾショウマ	31	タ ニ ソ バ	2
ク ワ	4	カ ヤ	31	ダイコンソウ	2
イヌコリヤナギ	2	ツリバナ	18	ハンゴンソウ	1
エゾニワトコ	2	ヨ メ ナ	16	ツタウルシ	1
エゾマツ	2	ヤマハタザオ	13	ハ コ ベ	1
センノキ	2	チ ガ ヤ	13	ヨブズマソウ	1
ミズナラ	2	ウ ド	13	エゾメンマ	1
メイゲツカエデ	2	オニシモツケ	8		
サ ク ラ	1				
ハンノキ	1				
ドロノキ	1				
シナノキ	1				
ミズキ	1				

じである。しかし、ナダレの沢のカラマツ稚樹の着生は、約40年生の母樹に由来するもので、北海道の他の地区では、あまり見かけられない自然侵入のすがたである。

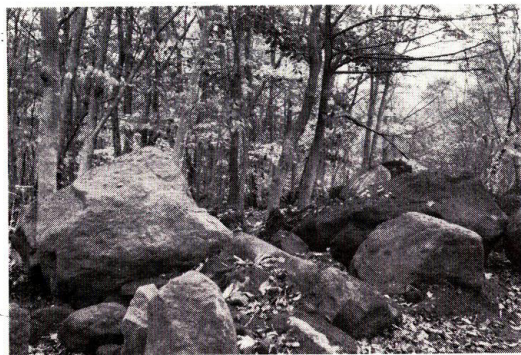


図-13. ナダレの沢扇状地下流部の岩塊の堆積状況

図-13は最上流部に位置している扇状地が2次的に洗掘され、下流部の林内に氾らん堆積した状況である。樹木群は過去の氾らんの歴史を物語るものであるが、約20年後に押し出された土石は0.5~2.0m大の岩塊を含み、土石流の荒々しい移動過程をしのばせるのに十分な光景である。ここでは、樹木が岩塊の移動を阻止したのではなく、停止した土石堆積のうえに樹木が侵入したもので、岩塊は広い空地において移動力を失って鎮座したとみることができるのである。この洗掘と堆積の時間的ずれと空間的ちがいを、厳密に区別しておかなければ、扇状地に対する人為介入に、重大な誤りをおかすことになるだろう。

3. 大有珠南麓および昭和新山扇状堆積地

有珠山は、有史以来しばしば噴火したわが国屈指の活火山である。この火山は、洞爺カルデラの南壁を破って生成した二重式火山で、外輪山・大有珠・小有珠・立岩・昭和新山などからなっている。これらの各山体には、数条のガリーが発達し、山脚部に大量の土石が氾らん堆積している。なかでも大有珠頂丘の南側にある崩壊地は、侵食進度が早く、土砂流出がもっともいちじるしく、幅600m、奥行300m、その面積は約15haである。崩壊斜面は鋸歯状に深く鋭く刻みこまれ、乾燥時の風食により、裸地斜面は更新されて脚部に崖錐をつくり、降雨時には雨裂となって侵食され、その土砂は土石流の構成物として、流動している。

図-14は崩壊地の全景を示すもので、向って右半分は現在侵食度が低くなっているが、左半分は、年々斜面が後退している。

大有珠溶岩塔そのものは、崩壊斜面の位置する隆起部に比べると、はるかに硬い岩石からなっているから、隆起部のような侵食はうけないはずである。しかし、隆起部にあたる現在の崩壊地は、しだいに奥行を深め、やがて溶岩塔直下に達するものとおもわれる。この崩壊地の侵食防止について、関係当局は、しばしば山腹

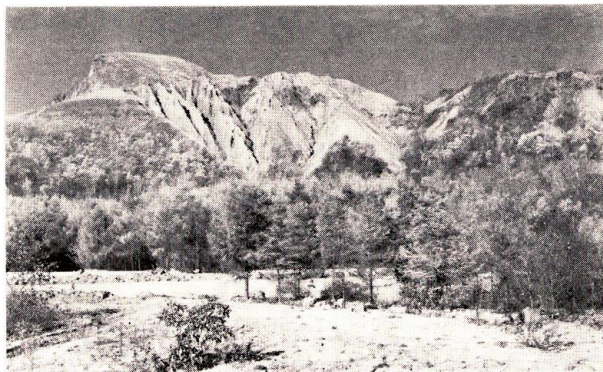


図-14. 大有珠隆起部の崩壊地と下方の扇状地

工事を実施しているが、現在までのところ、確かな工法はみいだされていない。おそらく、この部分は大有珠生成時に、地盤が隆起しはじめて以来ひきつづき侵食されているのであり、人為的にその進行をとめることは困難であろう。本論文では、崩壊地処理を主題としているわけでないから、この部分を流出土砂の供給源であるというみかたにとどめ、下方に広くひろがる扇状堆積地の推移について考察したい。

標高 380 m 付近は傾斜変換点となって、崩壊地脚部と堆積地の接合部にあたる。崩壊地からつづいている 3 本のガリーは、この堆積地を縦に深く刻んで発達し、1958 年以降施工されてきたダム工事によって、一時的に固定されようとしている。しかし崩壊地からの流出土砂とガリー内の流動状況とは、まだ不明の点が多く、流路を人為的に固定しうるかどうか、また固定する意味があるかどうか、重要な問題点が残されている。この点については、土石分散ダムの機能と関連づけて論ずるが、前記の傾斜変換点は、いわゆる扇頂部に当たるのであり、この付近の土石移動を規制しなければ、いたずらに流路固定をいそいでも意味をなさないものとおもわれる。

汜らん堆積地は、幅 250~600 m、奥行 1,000 m で、このなかには数多くの先駆広葉樹の群落(ヤナギ類・ドロノキ・ケヤマハンノキ)がみられ、それらの外観から推定される年齢差は、じつに多様である。図-15 は堆積地が 2 次的侵食をうけたために露出したケヤマハンノキの不定根層である。東・鈴木 (1967) は、土砂の埋没に耐える樹種の特性に着目し、樹齢と根の年齢をもとにして、くりかえされた埋没の履歴を知る年代解析の手段をつくり出し、これを扇状地調査のなかにとり入れた。この方法はこれまであまりとりあげられていないが、扇面の最近の変化をみるのに有効な手段となっている。



図-15. 扇状地内流路とケヤマハンノキの不定根 (1967. 7)



図-16. 同左 2 ヶ月後の埋没状況 (1967. 9)

図-16は同一個所において、同年9月の集中豪雨時に、再び埋没した状態を示すものである。流路が固定すると、流路内の土砂の移動は、小刻みに活発となるが、扇頂部における堆積状態に左右されて、流路が散らばると、1回埋没した個所は、数年～数10年たつて、このような不定根層を露出することになるのであろう。

ガリー周辺部は、10～30年生のヤナギ類、ケヤマハンノキの林に厚くおおわれている。それは図-17のヤナギ類の初期侵入にみられるように、裸地において急速に根系を発達させ、旺盛な上生長をとげ、さらに数回の埋没に耐えながら、残存しているものである。大小の氾らん原が、年々各所に形成されることは、陽生草本が埋没枯死し、競争相手のない空間が生まれ、超軽量の種子をもつヤナギ類が着生するのに適している。そのために先駆樹種の群落が、転々と場を変えながら、このような氾らん堆積地に生存することになる。この点に関して、ヤナギ類種子の寿命は5～10日と短く、発芽に要する時間は、わずかに36～48時間ときわめて早いことも、特徴ある生物現象であることを付言したい(東・藤原・新谷・村井: 1971)。

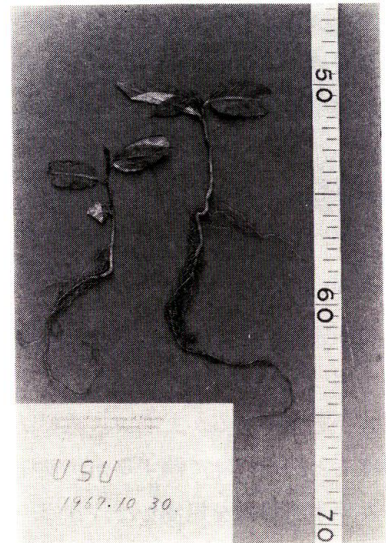


図-17. 氾らん原に侵入しているヤナギ稚苗

表-2 先駆樹種の侵入状況

調査区	樹種	侵入本数 (本/m ²)		生長高 (cm)
		樹種別	計	
1	イヌコリヤナギ	260	263	1～7
	ナガバヤナギ	3		6～31
2	イヌコリヤナギ	81	126	1～10
	ケヤマハンノキ	45		2～30
3	イヌコリヤナギ	167	192	1～10
	ケヤマハンノキ	25		2～25

1966年8月の集中豪雨によって形成された堆積地に、新しく侵入している先駆樹種の稚樹は、約2年後の1968年6月の調査例(東・鈴木: 1970)によると、表-2にあげたように、イヌコリヤナギ、ナガバヤナギ、ケヤマハンノキなど、1m²当たり126～263本となった。この調査区は、とくに濃密な侵入個所であるが、種子の供給条件によっては、草本類と同じような群構成をなしうるものとして興味深いものがある。

ケヤマハンノキの種子は、同年秋(1966年)に着地、翌年春(1967年)発芽し、ヤナギ類は翌年初夏(1967年)に着地し、直ちに発芽したことになるから、いずれも1生長期(1967年)

を、2年目にはいったところであるが、すでに30 cm 前後の地上高をもち、生長力旺盛なことを示している。

ガリーから放出される土石は、横断地形で見ると、中高のレンズ状を呈し、しかも新しい流路が、中央凸部を通り、扇面を2分している。この状態は、泥流状物質が先行し、流水がそれに後続することを意味するものとおもわれるが、火山山麓における特有の土石移動形態といえるかもしれない。

林内つまり旧氾らん堆積地も、一般に凸形の横断面形を呈し、地表面に大岩塊が突出している光景は、流動物質の運搬力の大きさを物語っている。

この扇状堆積地における高齢木は、広く各所に点在する100年余のドロノキである。侵入の起源を明確にするには、なおいくつかの証拠を必要とするが、大有珠と小有珠の間にある旧火口の表層の火山灰層に生育しているドロノキとほぼ同齡であり、嘉永6年(1853)の火山活動のあとに侵入したものではないだろうかと推察される。

広範囲に侵入したドロノキは、埋没に耐えて、しだいに上長生長し、たえず後継樹を残しながら生存してきたのであろう。これは、つぎにのべる昭和新山山麓の優勢なドロノキから類推される。しかし、ここではウブシノッタ扇状地のミズナラのように、300~500年を数える老木はみられないようであるから、有珠山一帯は変動のはげしい歴史をもっていたと推論してもよいだろう。

大有珠の北東約1.5 kmの地点に昭和新山がある。この山は1943年から1945年にかけて生成した新火山で、平坦な畑地が隆起し、現在みられるような溶岩塔の形成をもって成長がとまったということである。地盤の隆起は、当然斜面に「地じわ」をつくることになるが、その「地じわ」は、雨水の集中流下によって、漸次洗掘されガリー状に発達し、やがて谷地形をとったとおもわれる。

地形学で述べられている隆起現象の説明は、まず、平滑な球面形の凸出を想像させるが、現実に生成した昭和新山の形態から、大有珠、小有珠あるいは他の火山地形や、堆積岩地帯の脈岩による隆起現象なども、地盤を平滑に押し上げたものでないと推察される。

DAVIS(水山・守田 1969)が、侵食現象は隆起現象とともに起こったことを指摘しているように、昭和新山においても、その山麓に新しい扇状堆積地が形成されている。ここで注目すべきことは、ガリーの発達には植生の拡大を分断するように、山頂へ伸びている点である。すなわち、「植生は侵食を阻止する」という命題は、林学や砂防工学においてあまり疑いをかけられていない点である。しかし、筆者ら(1971)が提唱するように、裸地の不動部に着地した種子が生長し、かりに大木になったとしても、たびたびの地表変動によって、生育を妨げられるという、植物に対する無機物(土、水)運動の支配力を認めなければならないだろう。

図-18の右側は昭和新山の南東面の屋根山(隆起部)と溶岩塔、左側は大有珠の隆起部と溶岩塔である。屋根山の上方面まで木本が侵入している反面、脚部にはV字型の谷が形成されつつ

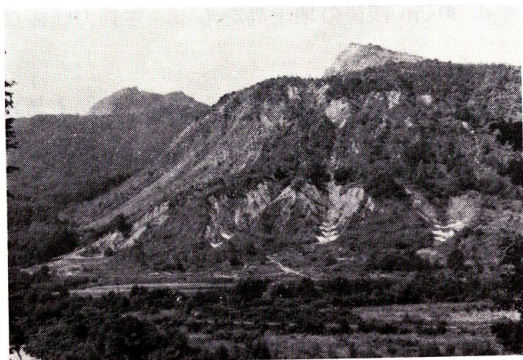


図-18. 昭和新山 屋根山(南東面)の植生侵入状況, 左側の山塊は大有珠

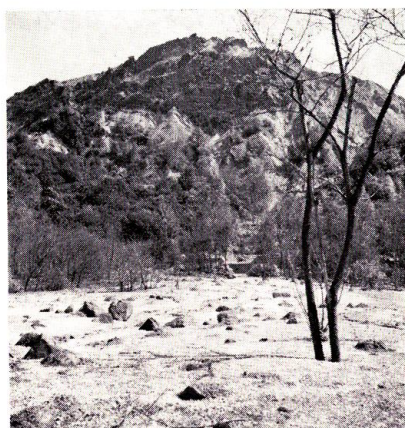


図-19. 昭和新山の崩壊状況

ある。1950年以降関係当局は鋭意ダム工事をすすめ、崩壊物の流出氾らん防止につとめているが、屋根山を構成している未固結物質の崩落は、防止工をうわまわっている。図-19は、斜面崩落の一部を示したもので、隆起に伴って破壊された岩塊の崩落がめだっている。なおこれらの崩壊物は、図-20のように山腹積工や谷止工をのりこえ、下流氾らん原まで運び出され、図-21に示すように乱雑に堆積している。図-22は昭和新山北面の屋根山脚部における氾らん堆積地の横断面形である(増岡, 1968)。この堆積地は、幅112m、奥行120mで、堆積深は2m余りで、新旧2つの堆積部から成りたっている。山脚部の傾斜変換点には、1960年に長大な山腹積工が設けられたが、1962年8月の集中豪雨(2日間降雨量170mm)の際に、右岸に押し出した土石は約10,000 m^3 、そのうえには、すでにミヤマハンノキが群生(23本/2m \times 2m)

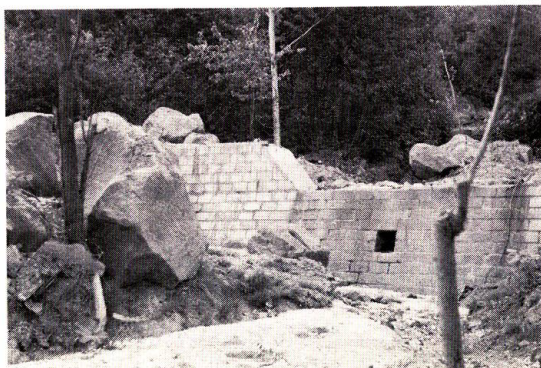


図-20. 昭和新山の傾斜変換点に設けられた谷止工と、それをのりこえた岩塊



図-21. 昭和新山山麓の氾らん原

しているところもある。つづいて、1966年8月の集中豪雨(4日間降雨量164mm)の際に、左岸に約11,000 m^3 が押し出し、山腹積工から60m地点で径1mの岩塊が、120m地点では径0.5mの岩塊が累積して、土石流堆積の先端部の形態をなしていた。

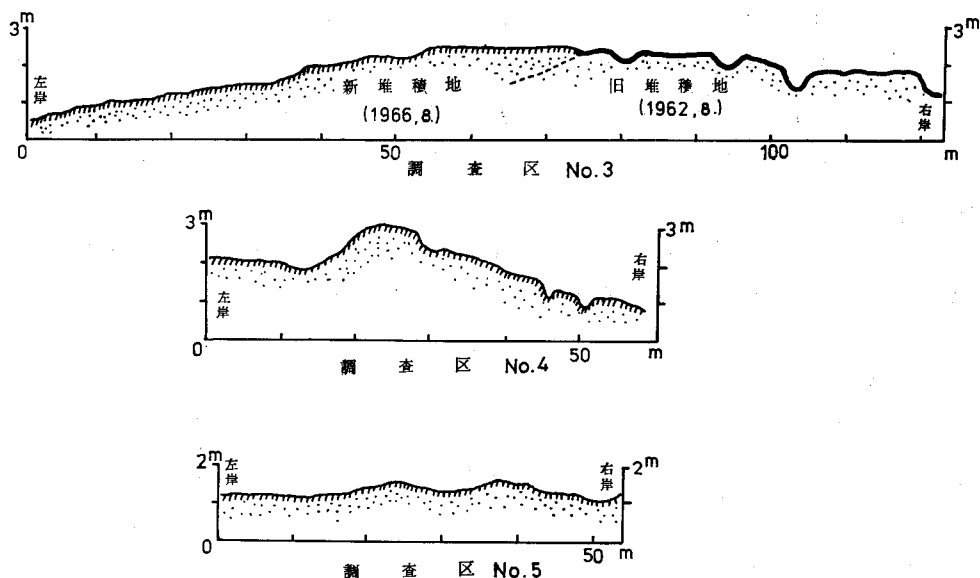


図-22. 昭和新山扇状堆積地の横断面図

1967年4月には再び豪雨(日雨量89mm)があったが、このときは既に上方のルーズな岩層は乏しくなっていたとみえて、集中流下水はかえって堆積地の左岸部を浸食しガリーを形づくった。その際に洗掘された細粒土砂は、1950年植栽のニセアカシヤ林を埋没し、樹勢を弱らせた。

それに反して、自生していたナガバヤナギは、1962年以降3回の埋没に対して、不定根を形成しながら残存していた。このような傾向は、屋根山周辺部のいたるところに発生し、流出土砂の処理方法に、新手をあみ出さなければ、山腹工と谷止工にたよる在来の砂防技術だけでは対応できないものと判断されるにいたった。

4. 富士山大沢扇状地

富士山に発達する数多くの放射谷のうち、西斜面の大沢崩れの規模は最も大きく、下流部には、わが国屈指の活動的な大扇状地がひろがっている。標高500~800mにひろがるこの扇状地は、その面積5km²、年々5万m³の土石が、供給され堆積しているといわれているが、扇状地そのものが2次的に洗掘され、下流の潤井川・芝川へ流入する土砂量も多く、現在までのところ集落の恒常的な拡大をはばんでいる。

静岡県は1958年以降、斯界の権威者を集めて、富士山大沢崩れ対策委員会を設置し、地質学・地形学・気象学・水文学・植物学などの研究分野から、自然地理学的側面を明らかにし、なお、対策として砂防工学的な方法も提案されてきた。

この調査によって、大沢源頭部の崩壊を、人為的に防止することの困難さが、多くの研究者によって認められたはずであるが、いわゆる「緑化対策」によって、侵食を防止しようとい

う「傾斜畑侵食処理」の考え方が出沒し、かえって扇状地処理の具体的な技術開発を遅らせてしまった。一般人が富士山の変貌を嘆くあまり、世論にこたえようとして、関係当局がいたずらに可能性のない工種・工法を導入しようとすることは、世人をあざむくことになり、また、ある手段が一時的に表面的な効果を見せても、本質的には危険を包蔵することになるから、慎むべきことであろう。

富士山の地質学的研究では、その第一人者といわれる津屋弘遠が富士山大沢崩対策報告書(1961)に、崩壊防止の困難さを唱えていることを、とくに砂防工学の研究者・技術者は忘れてはならない。

岩塚守公・町田 洋(1962)は、大沢の発達について地形学的な研究を行なっているが、それによると、現在の富士山は沖積世にはいつてから形成され、地学的時間尺度でみるときわめて新しいもので、現在の大沢は約1,000年前(扇頂部の流木片の年代測定は 950 ± 60 年)に開析されはじめたといわれている。

源頭部の崩壊は、積雪期の一部をのぞき四季を通じて起こり、とくに乾燥時の風食・霜の作用などは、各地に共通する裸出斜面の侵食現象である。このようにして崩落した土砂は、ひとまず谷底に崖錐をつくるが、夏期の集中豪雨に際しては、たちまち泥流化し、大岩塊等をも運搬する。岩塚・町田の調査では、年に1回程度の大規模出水時の集合運搬の様式と、年に5~6回程度の小規模出水時の各個運搬の様式の砂れき移動を認めている。

なお、扇状地上方につらなる約2,600 m区間の岩樋を通過した土石が、扇状地に一時的に堆積する傾向は、大出水時の集合運搬の様式の砂れき移動の場合にいちじるしく、1959年7月から1960年6月までの1カ年間に $49,000 \sim 59,000 \text{ m}^3$ 、その間1959年8月13日の7号台風時には1回の出水で $30,000 \sim 40,000 \text{ m}^3$ の土砂流入量が算定されており、砂れき含有率の少い小規模出水時には扇頂部の洗掘も起こり、さらに、扇状地の2次的洗掘により、潤井川への土砂流入量は約 $100,000 \text{ m}^3$ に達すると報告されている。

1967年には建設省は、富士山大沢くずれ対策懇談会を設け、1968年に実施調査、1969年から下流の防災の見地から砂防事業をはじめている(多々内順二, 1970)。なお調査には地形・地質調査のほか、気象調査、洪水観測、流出土石の観測、航空写真による河床変動調査などが加えられているが、とくに建設省土木研究所(1970)における扇状地の流砂模型実験に、多くの成果が期待されている。

1970年10月、筆者は本地区を見学する機会を得たので、かねて検討中であった「植物指標による地表変動の判別」の方法を適用し、扇状地の現在の動態を明らかにしようとした。

地表の変動に関する時間的情報は、堆積地に侵入している木本群落の年輪によって得られるわけであるが、ここではアカマツ・ハンノキ類・ヤナギ類・ヤシャブシなどが、一般的にみられる樹種であった。これらの侵入木本は、生育の過程において、生立地点が2次的に侵食されたり、埋没した場合には、樹幹が傾斜し異常年輪や上伸枝の形成を伴い、また不定根が発生

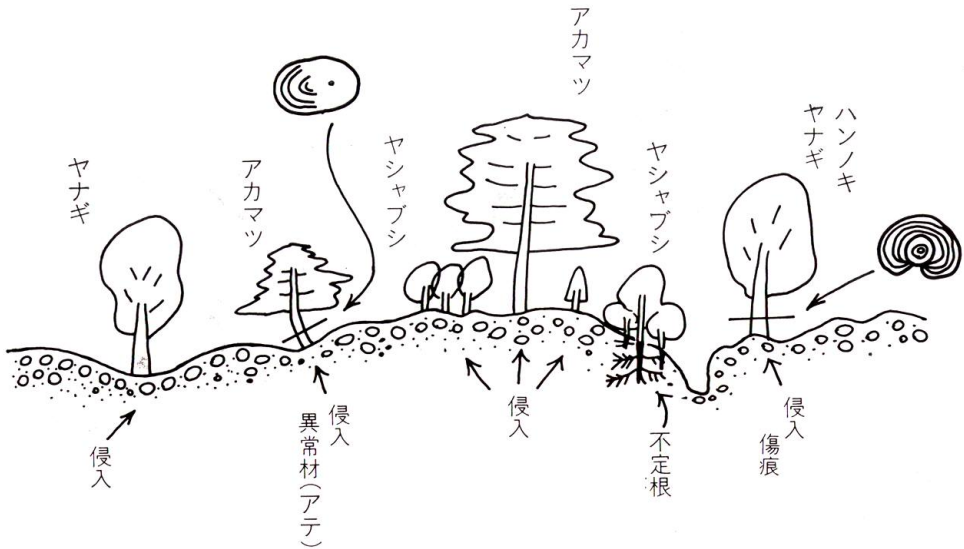


図-23. 土石移動の時間指標 (大沢扇状地 1970)

し、複層の根系をみるようになる。

大沢扇状地において、この種の情報を要約すると、図-23のように模式化される。

a. 扇状地には、団地状に4年生(1970年現在)のアカマツ・ヤナギ類・ヤシヤブシが侵入している。

b. 10数年生のヤシヤブシに、4年生の不定根がみとめられる。

c. アカマツ・ヤシヤブシの樹幹基部上流側に、土石流通過時の外傷がみとめられる。その年数は4年である。

d. 扇状地中央部のアカマツは、2次侵食のために傾斜し、図-24にみられるような4年間のアテ材をつくっている。

e. バッコヤナギの傾斜樹幹に、上伸枝が形成され、その年数は4年である。

f. 以上のような時間的情報を、やや古い時代に適用すると、ヤシヤブシ・アカマツの13年生の群落と、古谷のヤナギおよび凸部のアカマツが、ともに20数年の時間を経て、図-25のように現存しているものと推定された。

本扇状地の植生は、全般的に扇頂部付近に乏しく、扇端付近においては、木本と草本が密生しており、なお、ツル植物がそれに挑戦しているが、20年以上も



図-24. 扇中央部に自生しているアカマツが、2次侵食をうけて傾斜しアテ材(濃色部)をつくっている。

地表が安定すると、植物同志の競争ははげしく展開され、鳥類および小動物の媒介のもとに、重量級の種子・果実の搬入も盛んになり、林相はしだいに変化していくのである。本扇状地内に、20数年以上の樹木が存在しなものは、ひとつには伐採のためかもしれない。

いま、これらの侵入木本の年齢から、4年、13年、25年前に、大規模な土石移動があったものと判定すると、堆積の空間的ひろがり、扇状地の右岸側にみ

とめられ、左岸側はいちじるしく洗掘されており、いわゆる「土石流の直進性」と、「水の流下性」のちがいをみることができる。

地表に起こっているこの種の侵食現象は、歴史的に地表形態として残されているわけであるから、地形判読によって確かめることができる。

図-26は、3,000分の1の地形図より模写した扇状部の等高線図である。そして図-27は扇頂を標高780m地点とし、その点より半径600mの扇形内の、現在の流路をあらわしたものである。上流からの流路は「尻無し川」となり、半径330m付近で消滅しているが、いっぽうでは、扇状地内に新しい流路が発生し、しだいに成長して、左岸よりの潤井川の源をなしている。このようなみかたをすると、右岸の芝川の源は、本扇状地の右岸よりにあたり、半径600mより遠い地点（この図にはあらわされていない）になっている。

このような流路のパターンは、あたかも「毛細血管」の形態となり、扇状地上半部において、不連続である。そして流路はオーバーラップするように空間的なからみ合いをなしている。

表-3 大沢扇状地の勾配
(3,000分の1地形図より算定)

落差 10 m 水平距離 xm	勾 配 (%)	頻 度
169~200	5.0~5.9	2
144~168	6.0~6.9	23
126~143	7.0~7.9	46
112~125	8.0~8.9	56
101~111	9.0~9.9	22
92~100	10.0~10.9	14
<91	11.0<	7
計		170



図-25. 扇状部の植生、アカマツ・ヤナギ類・ヤシヤブ

る。地表形態を3次元の空間としてながめると、分散と収斂の必然性が明らかになる。図では、扇状地中央部から右岸にかけて、「ナシ地」で示した部分があるが、これは相対的な緩斜部であって、上流から押し出されてきた土石流堆積の特徴をあらわすものである。左岸は、発生頻度の高い中・小洪水時に、十分洗掘され、半径300m圏より下流になると、緩斜部はみとめられない。この緩斜部は、900m圏内までは150mピッチ、それ以上1,400m圏までは70mピッチで出現し、堆積砂土の小規模な移動状態を示している。

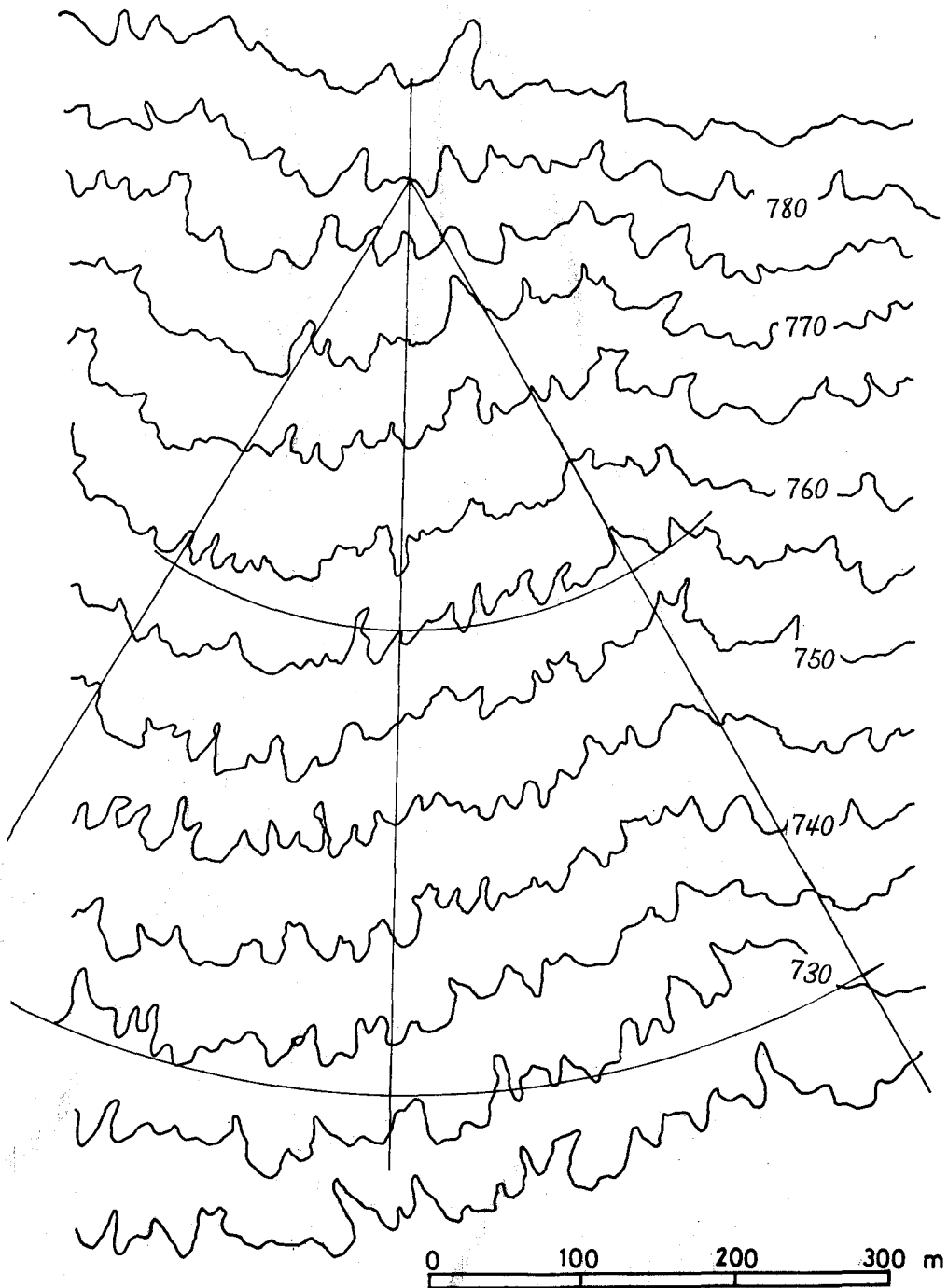


図-26. 大沢扇状地の扇頂部 (標高 730~780 m)

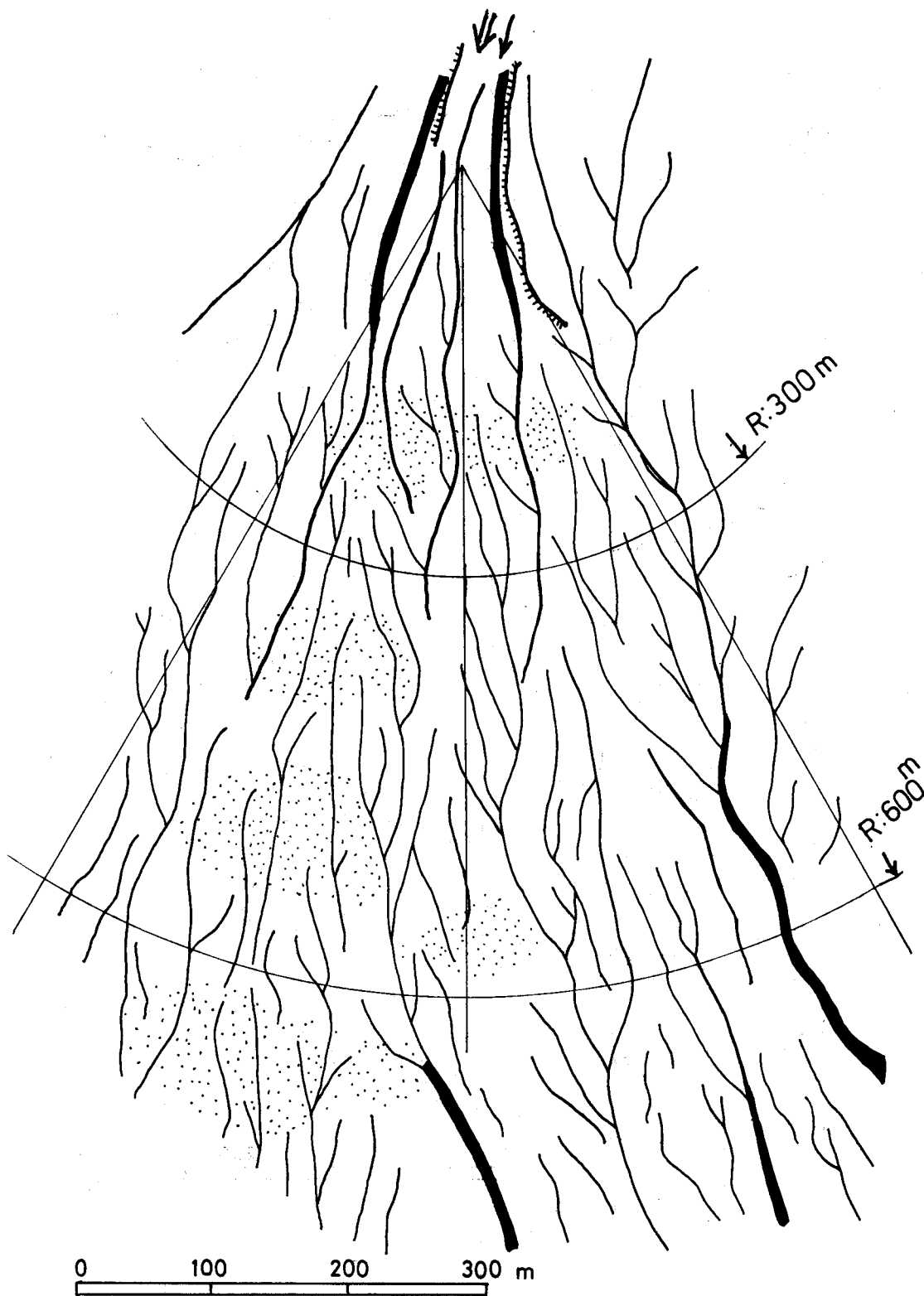


図-27. 大沢扇状地の水みちと緩斜面 (ナシ地)

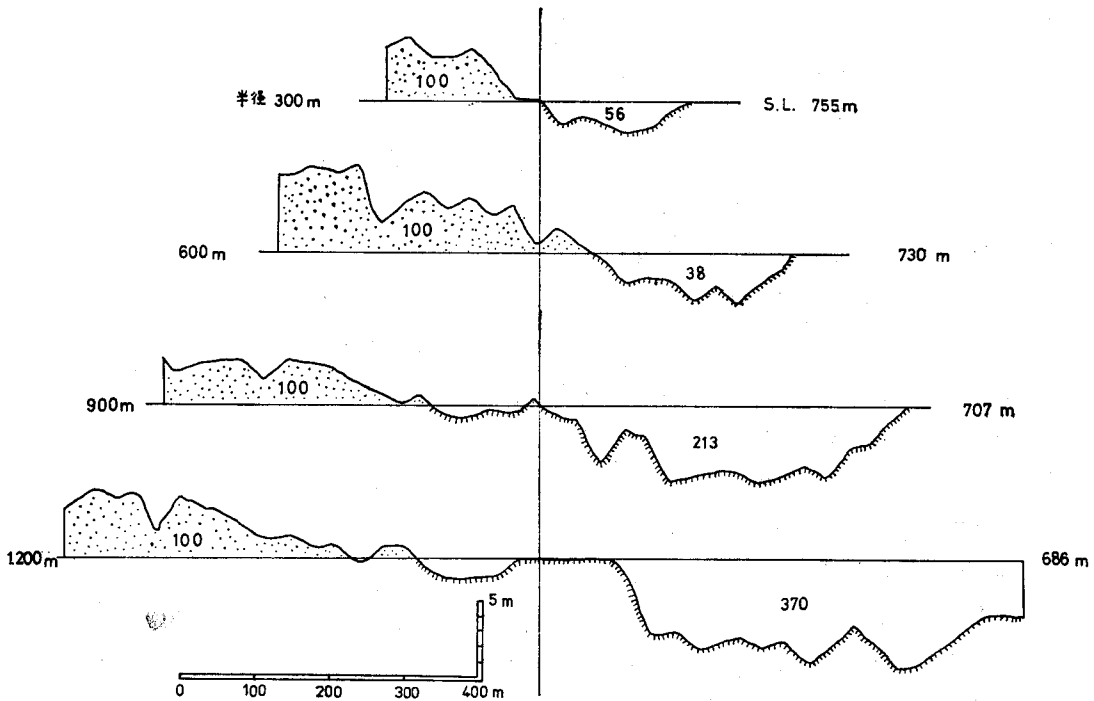


図-28. 扇状地の横断面 (向って右側が左岸)

扇頂 (標高 780 m) よりの距離を半径で示し、地盤高を S.L. であらわした。堆積部 (100) と洗掘部の割合を数字で示した。

ちなみに、扇状地の勾配を、地形図のうえから算出してみよう。表-3 に示すように、落差 10 m に対する水平距離でとり出し、それを勾配であらわすと 5.0~13.5% となり、その出現頻度は任意にとった 170 カ所の場合、8.0~8.9% が最も多く、ついで 7.0~7.9% となった。すなわち、全数の 6 割にあたるものが 7.0~8.9% という勾配を示し、土石流堆積部の 13.5% が最急勾配、現在洗掘されつつある部分や、堆積地の緩斜部に 5.6% の最低勾配がみいだされた。

図-28 は扇頂より半径 300 m, 600 m, 900 m, 1,200 m のサークル・ライン上の地盤高を、横断面で示したものである。それぞれの扇形の中心点は、標高 755 m, 730 m, 707 m, 686 m で、各中心点を結ぶ勾配は、8.33%, 8.33%, 7.67%, 7.00% と、さきあげた平均的な勾配である。この図は、乗直縮尺を水平縮尺の 20 倍に拡大して画いたものであるが、「水は低きにつく」という原理からみて、扇状地での流下水は、左岸よりに集中していることがわかる。

いま、各ライン上の凹凸の関係を割合で示すと、凸部の 100 に対して、凹部は 56, 38, 213, 370 と、いったん減少しながら、再び急激な増大をみせ、扇状地自体の洗掘状態がよくあらわされているようにおもわれる。さらに、凸部が右岸の芝川よりに、いちじるしく偏っていることは、土石流の直進性を示すものであり、凸部には 2 次的な凹部もみとめられる。

この 2 次的凹部は、土石流発生時のものか、その後の降雨時のものか、図の上からは明らかにできないが、現地植物指標による判断を加えると、その動向が明確になる。たとえば凹

部に侵入木本があるような場合には、土石流発生時点のものであり、もし、新鮮な裸地面であるとするれば、最近の洗掘によるものとしてよいだろう。なお、左岸の主流路の2次の凹地は、しばしば洗掘され更新されているはずであるから、凸部のそれと同一にみることはできない。

この扇状地のひろがりの中心角は約 60° である。これは小型の扇状地において、相対的に水量よりも土砂量の多いところで、 90° 以上の大きな中心角をもつ場合にくらべると、本扇状地が、相対的に土砂量の少いことを意味していることになる。

つまり、洪水量が大きい場合に、流送力は大きくなり、土砂は遠方まで運ばれることになるのである。そして、間欠的に送り出される土砂量にも、量的制限があり、豪雨頻度と関連して、土砂供給の盛んな時期と場所とが、時間的に空間的に変動することになる。したがって、総体的にみて、現在は、扇状地自体がいちじるしく洗掘破壊されていることになるが、防災的見地にたてば、まずこの現象にこそ十分注目しなければならないのである。

5. その他の扇状堆積地

a. 利尻島大空沢

北海道の沿岸漁業として、利尻島は重要な生産拠点となっているが、標高1,719 mの利尻岳に源を発する放射状の各溪流は、山頂付近の崩壊物質を大量に流送し、とくに最近では漁民の生産基盤である集約な魚田に被害をもたらしている。

ここにおける土砂害は、他にみられる形態と趣を異にし、細粒の泥土が流下し、海底に沈積することにより、魚礁が悪変することにある。しかし、全般的にみて、山頂付近からの土砂流出および堆積の傾向は、他の火山山麓における状態と同一の傾向をもっており、林業土木コンサルタント(1968)が行なった地形調査にみられるように、標高200~300 mにおける沢の横断面図には、中高の堆積地があり、中央部にはいくつかの2次のガリーを形成していると記載されている。

この部分は、大量の土石を堆積するために、上記のような地形をとるのである。標高40~100 mの低いところにおいては、この堆積地から、間欠的に土砂が流出することとなるが、中凹みの地形は、現在洗掘度合が堆積度合をうまわっていることを意味しているものである。

沢地内は、文字どおり平常水のない「カラ沢」であり、流水は厚い堆積土砂の下を伏流しているわけであるが、過去の流出土砂の堆積は、溪岸のハンノキ類の群落(約10年生)やドロノキ(約30年生)などから、時と場所をかえて、移動していると推察できる。

b. 天塩川左支冷泉の沢

天塩川中流部左岸にひろがる蛇紋岩低山地帯は、山稜部に貝殻状の旧崩壊地が並び、山脚部に厚い崩壊堆積物がみられる。この崩壊堆積物を貫いて流れる急勾配の小溪流は、両側を洗掘し、大量の土砂を押し出して、天塩川沿岸に大小の扇状堆積地を形成している。

美深林務署管内のいくつかの小溪流のなかで、冷泉の沢はなかでも活発に土砂を流出している溪流であるが、その上流部にはいわゆる「蛇紋岩地帯の地すべり」特有の溪岸部崩壊が多

く、ケヤマハンノキ・カンバ類の群落から、最近では5~10年ごとに幅30~50m奥行50~100mの押し出しがあったものと推定される。

風化土砂は蛇紋岩地帯特有の粘土が多く、白亜系の砂岩・頁岩の岩屑をまじえ、沢の出口には、典型的な扇状地が形成され、ハルニレ・カンバ・ケヤマハンノキにおおわれ、末端部の緩斜地は、畑地として使用されている。



図-29. 砂防ダム設置後の扇状部洗掘状況

図-29は扇頂部に設けられた砂防ダムによって、扇中央部が洗掘され、大量の岩屑を流出した状態を示している。砂防ダムはいちおう扇状地の乱流防止の効果をあらわしたが、反面前庭部が洗掘され、副ダムによって補強されてはいるものの、すでにこの副ダムの前庭部も洗掘され、ダム自体の安全性は低下している。今後もダム上流部においては、加速度的に堆砂するわけであるが、ダム天端に岩屑が偏って堆積するために、扇状地は再び首振り現象を起こし乱流するものとおもわれる。

c. 常呂川上流白滝の沢

土居常呂川左岸白滝の沢は、置戸営林署管内随一の荒廃溪流で、町有林に属している沢の出口には、小規模であるが典型的な扇状地が形成されている。この扇状地は、幅200m、奥行600m、緩斜地形をなし、しかも図-30に示すようなドロノキ林におおわれているために、荒廃しているという印象を与えるような外観ではない。



図-30. 扇状堆積地のドロノキ林

ここでは、1965年9月の台風23号襲来の際、土石流が発生し、上流部に新設されたばかりの砂防ダムをのりこえた土砂は、扇頂部に氾らん堆積した。新しい堆積地には、すでにヤナギ類・ドロノキ・ケヤマハンノキの稚樹が着生している。氾らん原の末端部には、オオバヤナギの群落があり、樹高28m、直径66~80cm、推定樹齢120~150年で、過去に土石流氾らんの歴史があったものと想像された。

沢の上流部は両岸とも、凹凸の多い不規則な斜面をなし、乱雑な樹幹傾斜、異常年輪、不齊な樹齡など、新第三紀層に属する凝灰質砂岩の風化状態などから、クリープ性の表層移動が起こっているものと判定され、豪雨の際には、崩積土はもちろん、斜面の新成崩壊も多く、下

流への流出土砂はいちじるしくなるものとおもわれた。そのことを裏づけるかのように、渓床の厚い堆積地には、再三再四土砂に埋没したとみられる約20年生のケヤマハンノキがあった。

このように上流部の状態は、土砂の供給源としての条件を十分に備えていると判断できる。そして、扇中央部には図に示したようなドロノキの群落があり、80 m×100 mの区画から得た10本の試料木は、表-4に示すように、現在の流心から垂直高10~90 cm、樹高16~22 m、伐採高における直径は30~54 cmである。

表-4 堆積地に侵入したドロノキの樹齢 (白滝の沢)

No.	位置*) (cm)	樹高 (m)	伐採高 (cm)	直径**) (cm)	樹齢 (年)
1	10	18	35	54×53	36
2	20	20	30	38×37	36
3	30	20	40	40×36	36
4	30	18	20	31×30	36
5	30	18	27	41×38	36
6	70	18	20	33×31	32
7	80	22	32	45×41	32
8	65	20	35	43×41	30
9	75	22	40	41×40	30
10	90	16	35	42×41	32

*) 流心から立木地点までの垂直距離で示した

**) 伐採高の直径

個々の試料木間隔は10~30 mであるが、樹齢は30~36年で、現在の流心に近いNo.1~5はそろって36年、扇側部のNo.6, 7が32年、No.8, 9が30年である。扇側部における樹齢が中心部のそれよりも低いのは、伐採高に至るまでの生長の遅れによるものか、またはその後の土砂埋没によるものか、侵入年代の遅れによるものか明らかではないが、このドロノキの分布はすくなくとも36年以前(1968年現在)に広い裸地が形成されたことを示している。

もし裸地形成年代と侵入年代のずれや、伐採高までの生長期間を1~2年とするならば、北見営林局の荒廃現況調査に明らかにされているような管内全域豪雨災害の1929年8月の年代に符合することになる。このようなみかたをすると、前記のオオバヤナギ群落は、ドロノキ林形成のさらに100年以前の土砂流出の際にできたものであり、原始林時代に形成された扇状堆積地として、侵食と植生の主従関係を明らかにするひとつの証拠ともなる。

d. 敷生川源流マイボク沢

北海道唯一の多雨地帯といわれ、しばしば400 mm以上の集中豪雨に襲われる白老地区にあって、敷生川源流における土石移動の最もはげしい部分は、北海道において地すべり地塊としては最大の規模(幅3 km, 奥行2 km)をもつマイボク沢である。

左岸一帯から押し出す土石は、年々下流に運ばれているが、白老営林署の調査によると

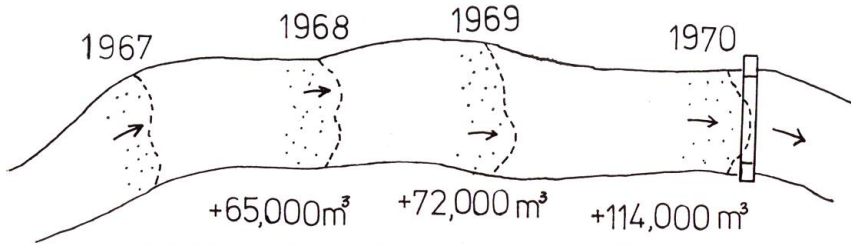


図-31. 敷生川マイボク沢の堆砂経過 平均溪床幅: 100 m

1968年竣工の砂防ダム(白老営林署施工 1963~1966年: 1期工事, 1968: 2期かさ上げ工事)には, 平均幅100 m, 延長1,000 mの堆砂区間に, 図-31に示すように, 65,000~114,000 m³の堆砂をみている。その堆積状況は図-32から判断できるように, おびただしい岩屑と流木が, 舌状の堆積をなし, 溪床の各所に散在し, 「息を吹く」ようなふくらみをもった形をなしている。



図-32. 流出土石の氾らん堆積状況

たまたま砂防ダムによって, 舌端部の洗掘が抑止されるために, このような形が残っているが, もし侵食規準面を不規則な地形にゆだねるとするならば, このように拡散したままの形態は残存しないだろう。このことは, 後述するように, 非侵食面を設定する土石分散ダムの原理につながるものである。



図-33. 層雲峡黒岳沢扇状地の諸施設

e. 層雲峡黒岳沢扇状地

大雪山国立公園の表玄関にあたる層雲峡は, 北海道有数の観光地として, 雄大な山岳美と多彩な渓谷美を誇っているが, 反面において, きわめて深刻な防災問題をもつ, 一即触発の危険地帯でもある。

なかでも世人に親しまれている温泉郷は, 1954年の洞爺丸台風襲来後, 急速に発展し拡大した商業施設地区となっており, 地形的にみれば, 黒岳沢が石狩川本流に直交する位置に形成された扇状堆積地に当たる。

黒岳沢の治山工事は, 北海道における治山事業の草創期に出発し, 現在もなお多額の経費を投入している重要地区になっており, 古くから最新式の工法をとり入れた画期的な施工がつづけられている。

いわゆる保全対象地は、図-33にみられるように、密集した経済施設等であり、扇面を蛇曲させたままの溪流の左右兩岸に定着している。

この扇状地は、大小30基に及ぶ上流部の砂防ダム（上川・大雪営林署施工）によって、現在は急激な土石の流出はみられず、扇状地流路内には溪床洗掘が起こっているが、1962年の豪雨時には、いくつかの既設ダムの前庭部がいちじるしく洗掘されたために、流出土砂は、図-34に示すように、扇中央部に一時氾らん堆積し、河道を閉塞するような結果となった。図のハンノキ類の群落は、その年代を示すもので、その後1968年の豪雨時には、オーバーフローした土砂混りの流水にさらされ、樹幹に傷痕を残している。

黒岳沢の上流部には、大規模な地すべり地塊があり、有害土砂の供給量は無尽蔵といえる。1969年以降、東（1971）の提唱する低ダム群工法は、従来の既設ダムと有機的に結合して、効果をあらわし、

扇状地への流送土砂を極端に少なくしている。その具体的なあらわれとして、1957年に設けられた玉石護岸工の脚部が、図-35のように洗掘されてきた。もともと、この護岸工は、扇状地内の流れを固定するために設けられたのであるが、上流からの流出土砂の規制に主動的な役割りをもたず、扇頂部に位置するためにそれ自体しばしば危機におちいつている。このような洗掘現象は、扇頂部における砂防ダムの構造と配置に、興味深い課題を与えるものである。

f. 空知川水系トナシベツ川濁り沢

濁り沢はその名の示すとおり、豪雨時に大量の泥土を流下させる小溪流である。流域は夕張山脈に源をもつトナシベツ川の支流域にあたり、面積515ha、地質系統は白亜系に属し、砂岩・頁岩・珪岩からなり、地層はいちじるしく褶曲し、溪岸はいたるところ慢性的な表層移動が起こっているとみられる地すべり斜面をなしている。

図-36に扇状地とその上流部をあらわした。兩岸からの押し出しは、しばしば溪流をダムアップしたものと想像されるが、扇頂部より約250m上流に設けられた1963年の砂防ダムに



図-34. 扇状地の現流路に侵入しているハンノキ類



図-35. 上流部からの土砂流送が抑制されたために、下流部では洗掘がいちじるしくなり、旧護岸工の根が不安定になった

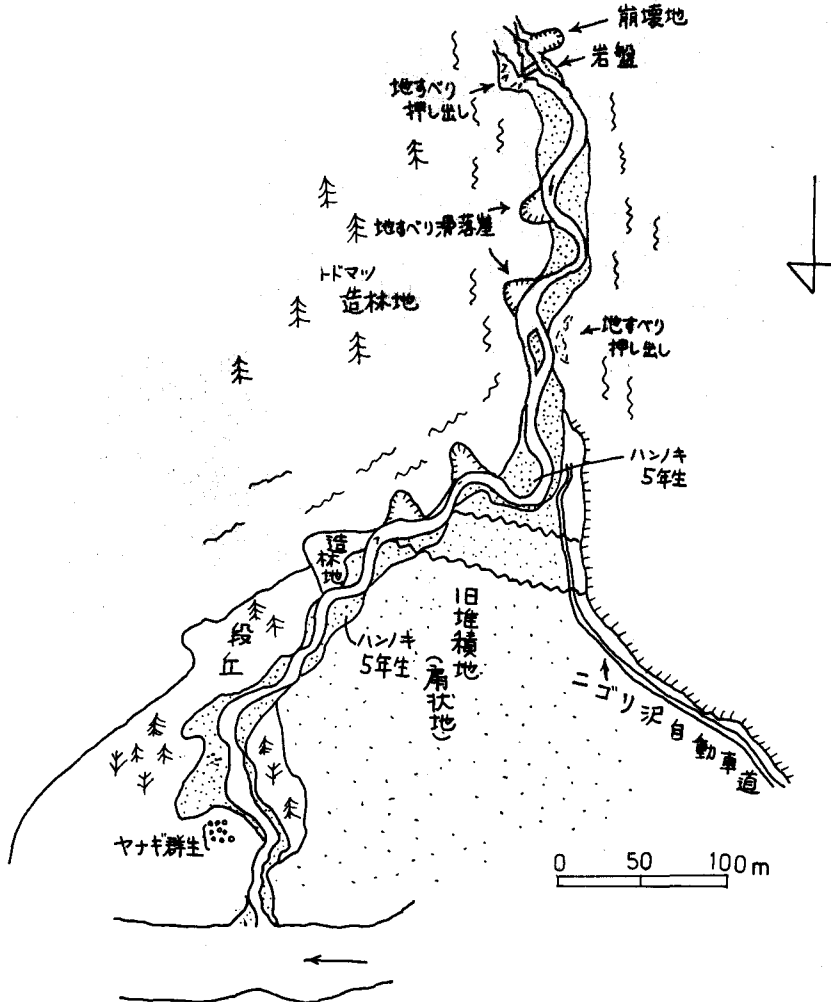


図-36. トナンベツ川ニゴリ沢堆積地概況図

より、溪流内には新しい変化が起こっていると判断される。

すなわち、1962年豪雨によって形成された扇頂部の堆積土砂が、とくに左岸部で洗掘され、流心は極端に屈曲し、ついで右岸の地すべり斜面脚部をえぐりながら、扇状地右岸に泥らん堆積している。

この扇状地は、副350m、奥行300mで、20~30cm大の砂質岩塊が累積し、横断面は小起伏をもつ中高のなだらかな地形をなしている。扇面の大部分は、カツラ・ハルニレ・ドロノキ・ケヤマハンノキ・ヤナギ類・エゾマツ・トドマツなどからなる樹林におおわれ、左岸側には、クマイザサの密生地もある。

現在の流路沿いに、図-37に示すように、火山灰の堆積層がみとめられ、その上に50~70cmの泥らん土砂が堆積している。この火山灰を1739年に噴火した樽前山のTa層(北海道



図-37. 扇状地内の現流路面をおおっている古い火山灰層とそのうえに根を広げている天然生広葉樹

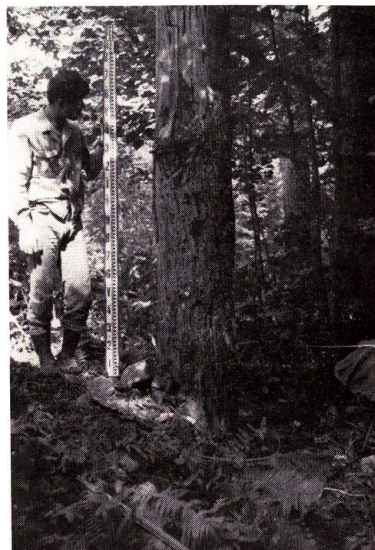


図-38. 扇状地のエゾマツ枯木、推定樹齢200年、前図と同じように、火山灰層に侵入し、その後流出土砂により埋没して枯死したものとおもわれる

開発局：1967) であるとするならば、上部の堆積土砂は約230年来のものということになる。扇面の諸所に点在するカツラの大木(径120 cm)は、あるいはこの火山灰堆積直後に侵入したものかもしれない。

また、図-38のように扇頂部に存在するエゾマツ(径：42~55 cm)も、ほぼ同じ年代の侵入木とおもわれるが、火山灰の下部堆積層が、上部の堆積物と類似している点で、氾らん堆積地の形式は、過去のものとは、ほぼ同じであり、その後の新しい氾らん原には、ドロノキ(径35~55 cm)、イタヤカエデ(径36 cm)などが定着したものとおもわれる。また、1962年の氾らん原には、ヤナギ類とケヤマハンノキの群落が形成されており、図のエゾマツの基部が岩れきで深く埋没したのも、この年代であろうと推定される。

この扇状地の樹木年代学的な解析(新出, 1972)によると、最近100年間の変動については、50~60年前と、20~30年前と、1962年の3つがあげられる。降雨条件によって、その周期は必ずしも一定ではなく、また土砂供給源の位置によって変動する空間は変わるから、一概に変動周期を求めることはできないが、すくなくとも10~20年ごとに、地表にいちじるしい変化があり、それに支配されて扇状地の植生が交替する点がかがわれる。

g. 安倍川源流大谷崩れ

大谷崩れは安倍川の源流部に位置し、日本三大崩れの一つといわれるだけあって、山稜部に広大な崩壊地が発達し、頁岩・砂岩の岩層は大規模な崖錐を形成しているとともに、溪床には、変動のはげしい扇状堆積地が存在している。この扇状地は「扇の要」とよばれ、本谷と一の沢の合流点付近(標高1,300 m)にあり、厚い岩層におおわれている。

建設省中部地方建設局静岡工事事務所(1968)の報告によると、大谷崩れは1530年にはじ

まり、1604年の南関東大地震により急激に拡大し、最近では年崩壊量約3万 m^3 、崩壊進行面積47.6ha、崩壊総面積88.35ha(1966)であるとされている。また、岩屑堆積面積50.55ha、堆積深4~12m、堆積量約373万 m^3 といわれている。

図-39は扇頂部における最近の土石流堆積の状態を、下流側からみたものである。左岸の林地は約20年前の土石流堆積地であるが、新しく発生した土石流は、旧堆積地の右岸を埋め、中高の凸部は旧堆積地のそれよりも高い。新堆積地には、すでにヤナギやモミなどが侵入し、周辺の林地から移来する諸樹種の種子がいち早く定着するという事実は興味深い。なお堆積地の上流部側面に、図-40のような年輪の傷痕を観察し、8年生のヤナギが4年後に土石流の影響を受けた点について、土石流発生の時間単位が、比較的短いことがよみとれた。



図-39. 大谷崩れの土石流堆積状況



図-40. 土石流堆積地に侵入したヤナギ樹幹は、その後の土石流をうけて傷つけられている

ふだん流水のない潤れ谷において、このような土石流が発生することに対して、まだ的確な観察記録はないようであるが、狭いV字谷でつくられた流動性物質は、加速されて直進し、相対的に広い幅の溪床に到達し、流水の独走を許して、岩屑は堆積せざるを得ないものとおもわれる。このような移動形態は、流量に比べて相対的に土砂量の多い場合にみられるが、1回の移動距離は200~300mである。そして、扇面においては、小刻みに洗掘されて、2次・3次のV字谷ができた場合に、小型の土石流が起こる。しかしこれも砂質分に乏しい岩屑堆積地では発生しにくい現象である。

h. 島原市眉山扇状地

現在の島原市は、1792年に背後の眉山に大崩壊が起こり、古今まれな災害をこうむって以来、しばしば崩壊におびやかされている。熊本営林局は1916年以降、営々と治山事業を重ね、住民生活の安全をはかっているが、山麓部の異常な市街地の発達により、完全な防災対策をたてるうえに種々困難な問題を含んでいるということである。

同営林局の調査(1964)によると、推定56年生のマツの埋没状況から、1916、1932、1953、1957年の4回にわたって、0.45~1.30mの土石流堆積をみているということであるが、標高

250 m より上方にひろがる扇状地の形成を知るうえに興味深い資料である。

また、この扇状地においては豪雨の際土石が移動した後に、マツ類（おもにクロマツ）がいちはやく侵入することがみとめられており、その数は1 ha 当り約5万本といわれ、アキグミ 546本、クス 228本、ヤシヤブシ 120本が、マツについて多くなっている。



図-41. 堆積地に侵入しているクロマツ

図-41は筆者が観察したマツの侵入状況の一例である。年齢差の異なる群落が散在し、北海道の火山山麓におけるヤナギ類・ハンノキ類の侵入状況と全く同じような光景を呈している。

当扇状地においては、1957年の諫早水害後眉山地区治山対策審議委員会が設立され、根本的な対策が練られ、1960年の土砂移動試験では、1962年7月におそった西日本一帯の豪雨時に、土石流堆積

を調べ、日雨量 130 mm 以上、最大時雨量 30 mm 以上を、危険雨量と推定し、土砂堆積量は55年間に100万 m^3 、年平均18,000 m^3 と算定している。そして、扇状地の流下水を鮎川、新湊川、白水川の3川に分流するよう、砂防ダムの配置を検討し、2次侵食の発生と斜面の崩壊防止を計画している。

筆者の観察によると、この地の流出土砂は無尽蔵であり、これを貯砂方式で防備対策とすることには危険が感ぜられる。そして本地区特有の「カスミ堤」は、河川における水理論に適合するものであって、扇状地の土砂移動の実態にそぐわない点を指摘できる（東：1970）。

i. 鹿児島県桜島山麓

わが国屈指の活火山として、桜島はしばしば噴火をくりかえしている。なかでも歴史的な噴火は1471～76、1779、1914、1946年の4回で、大量の溶岩流を出し、山麓の村落には莫大な人命・財産の損失をみた。

一般に火山地帯の危険性は、噴火に対する関心を強くしているが、前述しているとおり、山麓における豪雨時の土砂害は、土地利用の高度化に伴って、漸次増大していることを忘れてはならない。それは固結度の高い溶岩を対象とするものでなく、大量に放出される浮石・スコリア・火山灰の厚い堆積層が、年々侵食され、谷に沿って土石流となり、山麓に押し出すときの危険性である。

当地区のように、とくに観光開発に力を注いでいるところでは、山道路の開設と、山麓部の諸施設とが、お互にこの危険性を高めあっているといえるだろう。

図-42にその一例として、山麓部の河川改修の模様を示した。すなわち、豪雨時に大量の土砂を含む流れが、地形的に制約されて数本の河川に集中するために、河床上においては、いっき

に流送できない土砂が、諸所に停滞し、かえって集った水は与えられた流路内を満足に流れないことになる。したがって、当初設けられた河幅を広げざるをえなり、河川敷はしだいに増幅されていくのであるが、そのこと自体も、扇状地の特性を無視した水理論におわり、年々土砂を排除するという結果になるのである。

他のガリーの場合も、V字型に刻まれた谷から、いっきょに広い部分へ出ると、土砂は氾らん堆積し、そのうえには、クロマツを主とする木本がいちじるしく侵入し、前述の眉山と全く同じような光景をなしており、さらに堆積地の不規則な2次侵食がみられる。



図-42. 扇状地内の流路は、護岸工のみでは固定することができない

以上は名地の扇状地について、おもに現在のな変動の実態を、そこに侵入している木本群落との関係で記述し、従来の地形学的扇状地観や植物学的植生侵入観にとらわれず、事実のうえにたつて、防災的な見地から考察したものである。これは植物の生育が、主として気象因子や土性因子などの静的因子に影響されていると解釈されているのに対して、樹木の初期侵入を地表変動という動的因子と関連づけたものである。すなわち、樹木年代学を適用して扇状地の形態変化に時間軸を入れ、土石の移動過程をよりの確には握し、土地の歴史性をみきわめたいえで防災手段の方法をあみ出そうとしたものである。

土石分散方式に関する実験的考察

扇状地の地表形態は、土石の移動過程の一断面を示すものであり、降雨ごとに変形するところに特徴がある。したがって、自然のなまの状態としては、背後山地の流出可能な土砂の存在と降雨条件に影響され、さらに扇状地の既往の堆積地形に左右されて、土石の移動がくりかえされることを、定性的に正しく認識しなければ、いわゆる水理論によって、侵食現象のすべてを理解しようとしても、現実からうきあがった理論化にはしることになる。

すでに、土石害防止に関しては、砂防ダムがその具体的な手段として、こんにちまで計画され実施されているわけであるが、これらの実際的な効果を客観的に評価していくことは、野外における大型の長期的実験として、新しい知見を得ることになるものとおもわれる。

実験的方法は、強制的な人為介入を通じて、自然のなまの状態では起こり得ない現象をとらえるのであるから、徹底した観察が必要なことはいうまでもない。幸い砂防ダムはその築設年代が明らかであり、構造物としては、ほとんど半永久的にその地点に存在するために、周辺

に及ぼす影響を観察するのに都合がよい。

このような見地から、従来砂防工学になかった土石分散方式の概念について、その着想と研究経過を述べてみたい。

1. 土石分散方式の着想

扇状地そのものは、地学的年代からみればきわめて新しい時代に形成されたものであり、陸上の堆積物として存在し、水食に弱いことをいまさらのべる必要もないだろう。そして、扇状地における堆積現象を阻止しようとするならば、それにつづく上流部の風化岩層の生成と移動を阻止しなければならないが、この問題は、現在の砂防技術をもってしては、まだ完全に解決する段階にいたっていないし、画一的工法を強行すればむしろ自然の法則に逆行する行為となる場合もある。扇状地がしばしば災害の中心地として騒がれるのは、扇状地内における土石移動の急激な変化によりもたらされる土砂害であって、これをひき起こす降雨水の集中流下を、砂防ダムという「非貯水式ダム」によって抑制しようとする考え方は、本来の目的とは相違にずれる可能性があるといわなければならない。

すなわち、砂防ダムは流下水を止めるのではなく、土砂の移動現象に人為的抑制条件を加え

ているのである。これについては砂防ダムの機能的問題点として前述したので、重複をさけるが、図-43 に示すように、扇状地においては、必要不可欠とさえいわれているダムサイトの条件が満たされてないにもかかわらず、強引に砂防ダムが、設置された場合、またたくうちに洗掘され、危険な状態にさらされる。



図-43. 扇状地に設けられた砂防ダムの洗掘状況

もし、これらの砂防ダムが、図-44 に示すように、ブロック積みの構造物であったとするならば、きわめて簡単に破壊されるだろう。

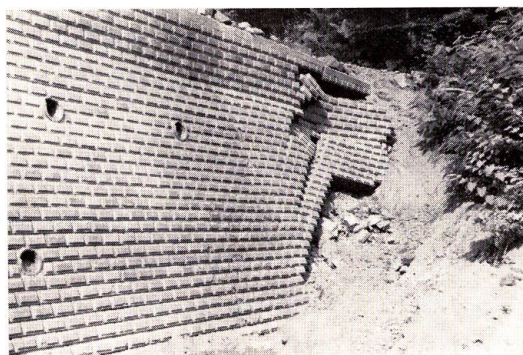


図-44. 砂防ダム袖部の洗掘破壊

この種の欠陥ダムは、たんに溪床勾配と流水の関係だけを、2次元断面におきかえてとらえようとした場合に生まれるものであり、溪床の形態を結果しているはずの構成物質、すなわち土石の運動を無視しているためである。したがって、移動の渦中にとじこめられて移動を抑制しようとする論理的矛盾をひき起こ

しているとみることができる。

しかしながら、いっぽうでは保全対象が山麓部に接近し、扇状地にはげしく侵入しているために、砂防ダムの必要性はますます高まっているわけであるが、「流路工」といわれている導水処理が、扇状地末端の安全圏を確保している事実についても、新しい視点から評価しなくてはならない。図-45 にその一例を示したが、低ダム群の構成によって、溪床の安定が保たれている点に、砂防技術の防災的意義を見いだすことができる。



図-45. 堆積地における流路工の効果

現在ダム築設の技術は高度に発達し、ややもすると新材料と施工法は大ダム主義へと独走しやすい。しかし立体的空間の変化に対して、かつて行なわれた石積工の低ダムが、群構成として効果をあらわすことを再認識すべきであろう。

すなわち、流路工がその使命を果たすためには、隣接上流部の扇状堆積地の処理に的確な方法がなければならないのであって、通俗的な表現をとれば、「土石の歩みをとめ、水を歩かせる」ことになるのである。それには脅威的な力をもつといわれている土石流の成り立ちについて、構成材料と発生条件の両面から追究し、人為介入の許容限界を見さだめるべきであろう。

筆者は、かねて土石流の構成材料を、「岩塊」・「細粒土砂」・「水」の3者とし、その混合する条件として地形的にみて狭あいなV字谷をあげている。この材料と形態は、わが国の火山山麓においてふつうにみられることで、その現象は豪雨が「引き金」となって誘発するのである。一般に透水性の高い火山砂れき層にこの種の現象が起こるのは、常識に合わないようにみえるが、じつは、岩塊のダムアップが砂れき層の流動化を刺激し、連鎖反应的に、岩塊群への反作用を起し、雪だるま式に膨大な流動物質をつくるものと推察される。

この種の物質移動に力に対抗するのは、きわめて危険な行為であって、これまでにしばしば破壊された砂防ダムが、そのことを物語っている。

筆者は、「岩塊」・「細粒土砂」・「水」の3者のうち1あるいは2を除去したいとする希望よりも、3者を同居させない地形的条件に焦点をあわせ、扇状地の堆積特性から、より平滑な広い空間の存在意義に注目した。それは多くの砂防ダムが、ほとんど例外なく果たしている侵食防止の役割りを、有機的に組み合わせることによって達成できるものと考えた。

すなわち、扇状地における流下水が、人為的に設けられたダム天端によって、質と量の区別なく洗掘力を失う点に着目したのである。そしてこの手段が根底をなすとき、砂防工法は技術化されるものと信じた。要するに「集中」と「分散」の時間的・空間的問題として扱ったのである。

2. 既設工作物とガリーの変化

1959年から1962年にいたる4年間の羊蹄山ナダレの沢調査(北海道林務部, 1963)において, 筆者は氾らん堆積地の, 新しい堆積と, それにひきつづいて起こる2次侵食とをみて, 両者の合理的な処理方法として, 土石流の分散する氾らん原を面的に確保すべきであることを主張した。

その趣旨は, 扇頂部に谷止工を設け沢口での土石流放出方向を規制し, あわせて氾らん原に配置された帯工式床固工によって, 土石流を分散させるという構想であった。しかし, 当時の砂防構造物は, ほとんど粗石コンクリート製であったために, 本地区のように無水地帯においては, 施工上難点が多く, 本構想は実現のはこびにいたらなかった。

その後1964年に, 鉄線フトン籠による床固工が, 図-46のように配列され, 氾らん原の2次の侵食防止にあたった。しかし, 原地形の凹凸に沿った構造物天端の設置と, 100~200 mの離れすぎた配置間隔のために, そのフトン籠工はある程度上流部において土砂移動を抑制することはできたけれども, 既往のガリー底において, 前庭部にいちじるしい洗掘現象が起り, 構造物自体はたちまち不安定な状態にさらされ, 本格的な機能を果たさなかった。



図-46. フトン籠による床固工は, 洗掘に応じて変形し, 天端をレベルに維持することができない

このような考え方で, 当時ユニークな工法といわれていたのは, 昭和新山南山麓において, 1962年に施工された床固工と編さく土塁工の氾らん原処理である(太田・恵比須, 1968)。図-47に示すように, ガリーの出口に, コンクリートブロックおよび鉄線フトン籠の床固工を設け, 氾らん原には長大な編さく土塁工を4段配列して, 土石と遊離した流水を安全に誘導しようとしたのである。その結果は, 予期されたとおりの水土分離, 土



図-47. 昭和新山南山麓のガリー氾らん原の分散処理工法(土のいおよび編さく工)

石分散堆積となってあらわれた。

しかし、この画期的な工法に対する正当な評価はみられず、技術者間にあっては、いたずらに個々の構造物の規模、工法の難易のみに関心が向けられ、構造物の位置とその周辺に及ぼす効果については、厳密な分析はなされていなかった。したがって、流水処理に必要な空間と、誘導工としての土塁と編さく工の原始的な工法は軽視され、砂防技術本来の理論的根拠は失なわれようとした。施工後10年を経て、数回の豪雨に見舞われた現在においても、この施工現場は健全な状態に保たれており、火山山麓の土地利用と砂防工法に示唆するものが多いとおもわれる。

火山噴出物の堆積地に発達するガリー (gully) を、安全に固定化しようとする試みは、わが国の治山・砂防技術史を通じてみられるところであるが、いまだにその決定的工法は案出されていない。これは Wildbach-verbauung (野溪工事) としてオーストリーから導入された技術が、外見的に類似したV字谷において無批判に適用されてきた結果である。その根本的な誤りは、第一に、堆積岩地帯のV字谷にはダムサイトとして都合のよい硬い岩盤が存在することもあるが、火山山麓のガリーには、それにふさわしい岩盤が存在しないという立地条件のちがいを無視している点にある。もし、火山山麓において、溶岩流により形成された岩盤があるとすれば、その部分は岩樋か、滝をなして、特殊な場合をのぞき、もはや砂防ダムの築設を必要としない場処であるとおもわれる。

火山山麓のガリーに対して設けられた砂防ダムのたどる運命は、図-48に示す実情から推察することができる。わが国では、石積工のダムほど歴史的に古い構造物であるから、この図に示される2基のダムでは、上流側の練積ダムのほうが、コンクリートダムに先行して設けられたものといえる。この下流側のコンクリートダムが必要とされた理由としては、練積ダムの前庭部洗掘による構造物の安全確保にあるといえるが、石積工の場合に、ダム基盤の崩壊が全体に及ぼす影響には深刻なものがあることは、容易に想像できる。しかし、この図に示されているように、補強的副ダムといえども、再び前庭部を洗掘されるという運命にさらされるのであれば、この副ダムの安全性を維持するために、さらに第2、第3の副ダムを必要とするのである。

このような現象は、ふだん流水のない火山山麓のガリーにおける土石移動の特徴である。しかし、その実態については不明な点が多く、未だに想像の域を脱していない。筆者の推察するところでは、このような火山山麓のガリー

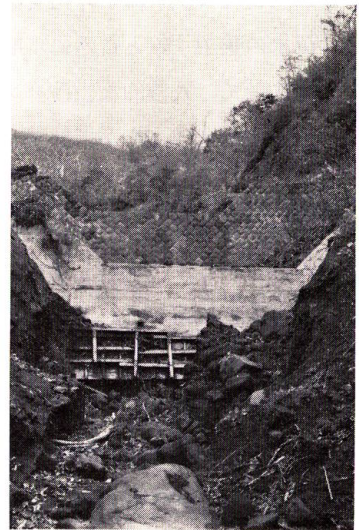


図-48. 火山山麓のガリーに設けられた砂防ダムは前庭部が洗掘される。副ダムによってカバーしようとしても、副ダム自体も危険にさらされる

において発生する土石流は、ダム地点を通過する時間的前後関係から、Massとしての流動体と、それに随伴する後続の洪水流とにわけられ、降水量が多いほど、洪水流によって溪床は洗掘されやすいという性質をもっているようである。

後続する洪水流の実態をとらえることは、はなはだむずかしい問題である。一般には、土石流が終始同一の混合体と想像されている場合もあるが、堆積形態と分布状態からみても、流出水量に比べると、土石量ははるかに少量であり、土石は不連続の間欠的な移動をしている。

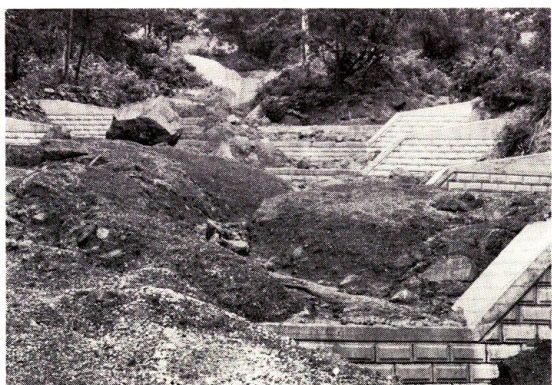


図-49. 群構成のダムが土石の流動をおさえている状況(有珠山)

ガリーに設けられる単独ダムによっては、上記のような土石移動の実態をとらえにくいですが、図-49に示すように、近接した連続ダムの場合には、流動した土石の堆積状況から、移動過程の一面を知ることができる。図の左側にみられる大岩塊は、まぎれもなく、ダム築設後に運び出されたものであり、ダム天端より高く盛り上がった堆積状況は、ある条件のもとで、土石移動が阻止される点を物語っている。なお、この図には示されていない

が、この数基のダム群の末端部においては、溪床がいちじるしく洗掘されており、後続したとおもわれる洪水流の作用を想像することができる。

流水の集中するところに、必然的に発生するこの種の堆積現象は、これがくりかえされることによって、人為的な土砂コントロールのうえに、新しい問題を提起する。すなわち、近接した一連のダムは、やがて堆積土砂によって放水路断面を閉塞されることになるから、その後の流水はそれまでのガリーの両側へと、流路を変えざるをえないのである。したがって、ダム袖部を越流したり、さらには、袖部を離れた位置を流下することになり、新しいガリー発生のきっかけをつくり、それまで流路形態を保っていたガリーは、流水のない古谷としての痕跡をとどめることになってしまうのである。

この現象は、扇状地特有の「首振り現象」と同一のものである。したがって、土石移動のはげしい場所においては、流水処理がいかにむずかしいということがわかる。

じつはこの問題は、海岸砂防における砂丘固定の手段と対比しながら考えることができる。たとえば、前砂丘の固定や、砂丘頂の風裂を拡大させないために用いられる堆砂垣は、風向に直角の方向で設けられ、その天端はレベルに保たれ、凹部に収斂する風が分散するように計画されている。これはガリーに集中する流水を分散させる場合に、長大な非侵食線を、流水に直角方向に、しかも、その天端をレベルに保つことによって、分散効果を期待しうると、原理的に一致するのである。すなわち、風や水のような流体の運動と土砂移動との力学的関係

としてとらえることができるのである。

そこでこのような非侵食線の設定こそは、まさに、人為的、技術的なものであり、自然の3次元空間の動態を規制しうるものということになるのである。つぎにその面的・立体的非侵食面の構成と、その効果について、施工地における事例にもとづいて述べることにする。

3. 施工地における実験的考察

土石分散の原理が実地に適用されたのは、有珠山南麓の扇状堆積地である。それは、1965年に大量の土砂が、国有林管内から公有地に流入堆積し、伊達市(当時町有林)所有の造林地を埋没し、カラマツの大量枯死をみたことにはじまる。

現地の崩壊斜面は、かつて大有珠生成の際に隆起した部分で、旧火山噴出物の厚い堆積層からなり、きわめて脆弱な地層である。したがって、降雨のたびごとに、集中流下する水によって侵食され、斜面には大小数多くの雨裂、食溝がみられ、下方には新旧種々の堆積地が形成されている。つまり、古い堆積地そのものが、下流に対する土砂の供給源として、半永久的に存在することになるのである。そこで、人為的に土砂移動をコントロールするということができれば、その行為に必要な空間と、技術的に可能な空間とを選び出さなければならないのであるが、この現場においては、さききのべたように、公有地内での土砂堆積を、ふたたびくりかえしてはならないという見地から、かつて長い年月にわたって形成されてきた旧堆積地の2次的破壊を、少しでも緩げる手段をとるべきであると考えられたのである。

その具体的な計画は、1965年6月函館営林局当局をはじめとし、室蘭営林署、胆振支庁、伊達市(当時伊達町)、道立地下資源調査所鈴木 守博士、北海道大学農学部砂防工学研究室の筆者とが、現地における討論の結果樹立された。

その後、まもなくコンクリート・ブロック積工による長大な堤長をもつ土留工が築設されている。この構造物は、当時各機関の設計基準にのせられていないために、正式の名称が与えられているわけではなかった。そこで筆者らは、このような考え方を端的に表現するものとして、「土石分散ダム」として、レベルに維持された長大な天端による流動土石の分散効果を強調した。

この方法が採用されてまもなく、幸運にも第1回の土石流に際会し、いちやくその効果があらわれた。すなわち、上流の堆積地内のガリーから送り出された大量の土砂は、分散ダムの天端によって、移動エネルギーが減殺され、正面からみると、中高の弧状を呈して堆積した。また天端をのり越えた土砂は、ダム下流部において数カ所に堆積し、流路は数本に分断された。

しかし、この時点においては、この分散ダムは単独ダムとして存在していたために、相当大きな効果をあらわしながら、その反面において、ダムの一部が欠壊するという結末になってしまった。この欠壊部分は、つまり土石流の直撃した部位であって、ブロック積工は、もぎとられるように破壊されたのである。そこで、このような土石流の集中流下をさらに弱めるため

に、第2・第3の分散ダムを設置すべきであるとして、現在みるような面的に広い範囲にわたって、分散ダムが配列されるようになった。

図-50は、その後、室蘭営林署と胆振支庁の関係機関の緊密な連絡のもとに、それぞれの担当区域において、計画され実施されてきた分散ダムの配置を示すものである。図に示したようにA空間は既設の部分であり、B空間は将来において施工されるべき部分である。

その後、毎年のように発生する夏期の集中豪雨時に、大量の土砂が流下しているが、これらは、いくつかの分散ダムをのり越えて、しだいに力を弱め、おだやかな堆積地形となり、また、流路は寸断されて、細流化するとともに洗掘力を失っていることが明らかにされてきた。すなわち、ダムとダムとの空間において、土砂の抑止と分散が、自然のままでは起らない新しい現象として、人為介入のもとに発生するようになったのである。

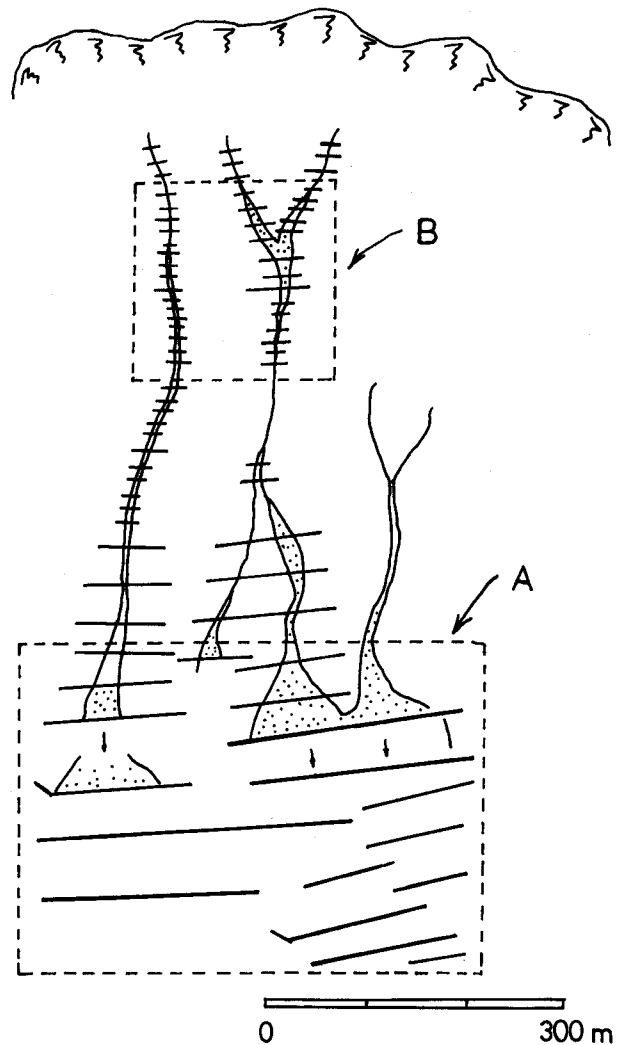


図-50. 大有珠南麓の土石分散ダム施工地概念図
A: 概施工部 B: 要施工部

ところで、このダムとダムの間隔をどの程度にとるかという点が問題になる。筆者のみるところでは、全く経験的な数値であるが、40~50mが安全な距離であるとおもわれる。つまり、この程度の間隔でもって、ダム群を構成させると、ダム前庭部の洗掘をまぬがれることになり、逆にこのような群構成にもとづくダムの配置は、変動のはげしい火山噴出物堆積地の空間処理を確実なものにするのである。

土石流がどのようなメカニズムによって発生するかは、いまだに推察の域をでないが、最近の「土石流追跡」の映画（松本砂防工事事務所 1972）によって想像できるように、土石流の先端部には、ブルドーザーの排土板が押し動かしている土塊のように、岩塊のもみ合うような姿がみられ、その後尾には、比較的に土砂の多い濁流がつづいている。したがって分散ダムを

おおいかぶせるように流動してきた土石流と、その後に堆積部を洗い流す濁流とは、異なった作用をなすものとおもわれるのである。そして、後続の流水は、分散ダムの天端によって、洗掘を規制されるとみることができるのである。

この点については、1961年8月、羊蹄山真狩ボチの沢において、村井・東・藤原(1963)の試みた小規模な実験とも関連させて考えることができる。その実験は、幅2.5mのガリー底に、コンクリート打設用のパネルを敷き、杭で固定したうえで、集中豪雨時の土石の通過状況をみたものである。幸にして、90mmの豪雨にであり、図-51にみるような結果を得たが、パネル

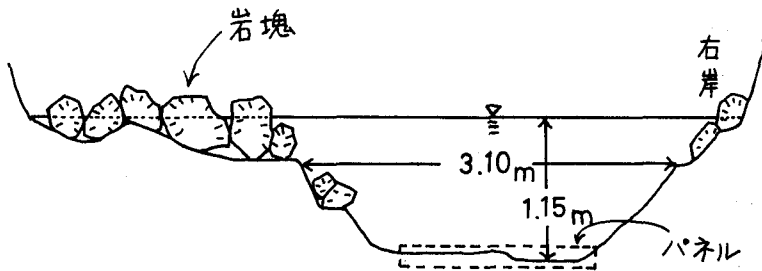


図-51. 土石流通過断面(羊蹄山真狩ボチの沢)

はもぎとられるように破壊され、そして、標石としてマーキングしておいた転石は、ガリー側壁の肩の位置に残存していた。なお、同じような方法を、融雪期を目あてにして実施してみたが、この場合は、僅かばかりの砂質土が、パネルに残存しているだけで、パネル面の記号(ペンキ書き)すら消えていなかった。つまり、夏と春のパネル面での流動土石の挙動は、全く異なっているとみることができるのである。

土石流が狭いガリー内で成長発達し、移動する過程で、岩塊を押し上げるようにして前進し、両側にあふれ出した標石が、肩の位置にとりのこされた点は興味深いものがある。

このような土石流の移動傾向をみると、比較的持続時間が短く、通過地点の地形にいちじるしく影響されているとみることができるのである。したがって、ガリー底面における土石の供給源を遮断する意味において、ダム天端を人為的に設けることは、土石流に対する積極的な抑制作用ということになると考えられるのである。

4. 扇状地模型化による実験的考察

土石流の発生条件のうち、材料的側面には、土砂と流水の量的異常性があげられやすい。しかし、実際の土石流については、一般の常識をこえた大岩塊を含む質的問題を中心にして吟味しなければならない。すなわち、細粒土砂と流水の関係は、一般に「掃流理論」であらわされているように、「流送」の形態を対象にしている。したがって、こねまわすような「流動」という表現とはかけ離れた現象を扱っており、流水は土砂に対して支配的な位置におかれている。しかし、土砂よりも粒径の大きな「れき」や「岩塊」は、流水によって運搬される割合が少なく、「大転石」ともなれば、流水をはねのけるような存在となり、支配的な立場は逆転す

ることになる。したがって、土石流の模型実験を、たんに「土砂」と「水」あるいは「れき」と「水」の関係においてとらえようとしても、その実験が意味をなさないことは明らかである。

筆者は、さきに、土石流の材料が、岩塊・細粒土砂・水の3者から成ることを指摘したが、その意味を模型的に縮小した場合を考慮し、つぎのような手段によって、流動性をもった物質をつくり出した。

これは、もっぱら「材料的見地」から検討したもので、混合条件については、その割合を除外して考察した。すなわち、縮小された材料の関係はつぎのようになる。

1. 岩塊→れき (粒径: 10~20 m/m)
2. れき→建築用洗砂 (粒径: 0.8~2.0 m/m)
3. 細粒土砂→市販食用小麦粉 (粒径: $124\mu < : 1\%$, $104\sim 124\mu : 9\%$, $88\sim 104\mu : 12\%$, $61\sim 88\mu : 28\%$, $38\sim 61\mu : 36\%$, $38\mu > : 14\%$)
4. 水→水道水

つまり、砂と小麦粉の混合物に適量の水を加えて流動性をもつ程度に攪拌し、10個の「れき」を加えて、狭長な樋を流動させ、下端の開放部で、自然に拡散流下させた。この狭長な樋のなかに、「れき」だけを設置し、上流から注水したけれども、「れき」は流下しなかったが、流動物のなかに混合されると、きわめてスムーズに移動することがわかった。

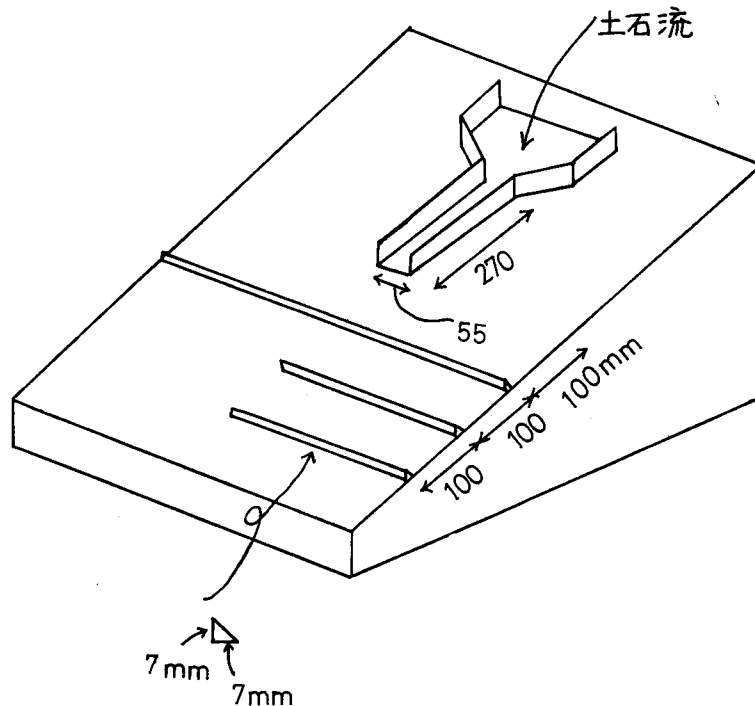


図-52. 実験装置 (傾斜12°)

土石流の流下装置は、図-52 にみられるように、約 500 分の 1 の縮尺で、傾斜 12° の平板斜面上に分散ダム 3 本を 10 cm 間隔で設けてある。そして、最上段の分散ダムは、流下面の全長にわたって設置され、下段の 2 本については、左右のコントラストを明瞭にするために、向かって右側半分 (左岸) にのみ設けた。

土石流の流動状況は、8 ミリ・シネカメラおよびスチール・カメラによって記録したが、その一部を 10 秒ごとに追跡した結果は図-53 のとおりである。

流動状況を特徴的にとらえるために、図のように標石 (単 2 乾電池を代用) を設置し、まず流水によって流送されない点を確認してから、土石流材料を流した。実験開始後 10 秒たつと、標石は泥流物質に押されて移動した。20 秒後の泥流物質は、樋の出口で左右にふくらみ、最上

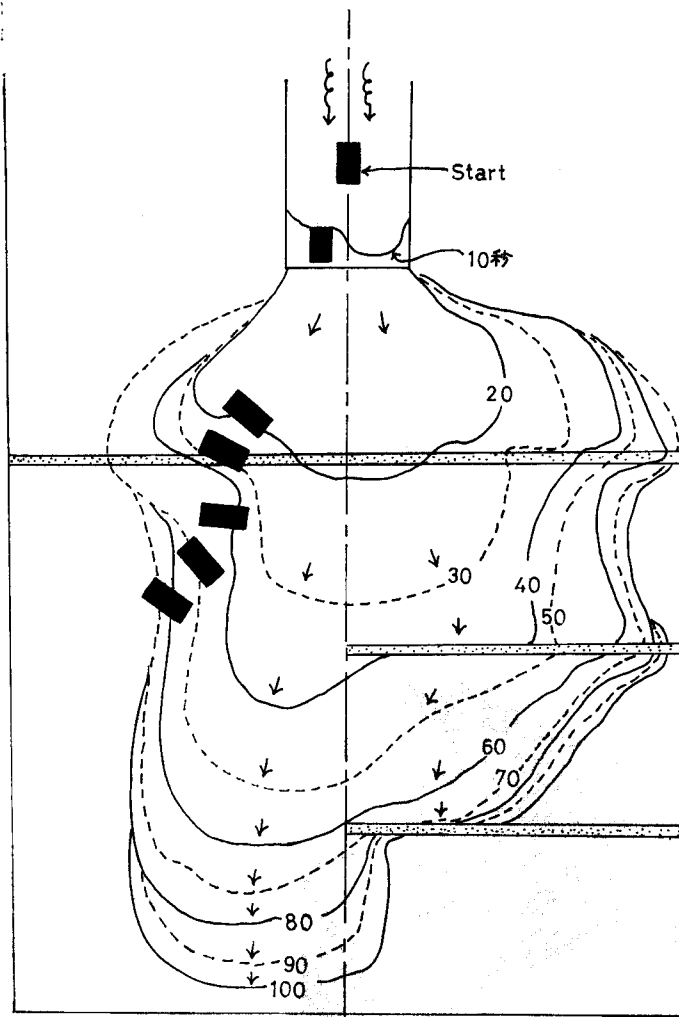


図-53. 土石流移動経過 (開始後 100 秒まで)
標石 (黒色) の移動, 70 秒後転落

段の分散ダムによって流動が阻止された。その抑制効果は、20秒後の流動状況によくあらわされている。すなわち、分散ダムは斜面下方に直流してくる土石流を、横方向に左右に押し広げるような作用をしている。

分散ダムのこのような効果は、40～50秒を経過した第2段の分散ダムの位置において、よりいっそう明らかになってきた。それは、左側半分(右岸)の分散ダムの設けられていない部分において、泥流は、右側半分の分散ダムの部分よりも、より下端へ流下している。

この傾向は、60～70秒後に、いっそう顕著になり、80秒以後においては、第3段目の分散ダムによって、決定的な差異を示すに至っている。

泥流にもまれた「れき」は、最終的に図-54に示す位置に止っているが、これは、斜面上方から、ひきつづき流動物質が供給されることによって、さらに流下する可能性をもっている。実際問題としては、「土石流の頭部」を構成する材料の容量には、ある限界があるから、洪水流のような持続性のある流下とはならない。したがって、狭長なガリー内で形成され、成長した土石流が、広い部分に達すると、ある広さにひろがって流動エネルギーが消滅し、その中に包みこまれた「れき」も動から静への変化をおこすのである。

実際に発生する土石流は、頭部の成長過程に伴って、洪水流を後続させる。そしてその洪水流は、頭部によって抑圧的作用を受けているけれども、地形的制約を解かれて頭部の移動能力が消滅すると、洪水流は鉄砲水となって、流下するために、すでに堆積形態に変化した頭部の構成材料の表面を洗い流し、とくに細粒物質を流下させる。このような形態は、土石流堆積個所において観察されるところであり、累積した岩塊および「れき」が、十分によく洗われて、泥や砂をかぶっていない状態から想像できる。

いま、前記の模型にこの種の現象を起こさせるための実験を加えてみた。それは、斜面上方の樋から流下させた水によって、堆積地の洗掘状況をみようとしたものである。

その結果は、図-54に示すように、分散ダムの有無によって、土砂の移動にいちじるしい差異がみられた。勢よく直進する流水は、最上段の分散ダムによって、半開きの扇状にひろが

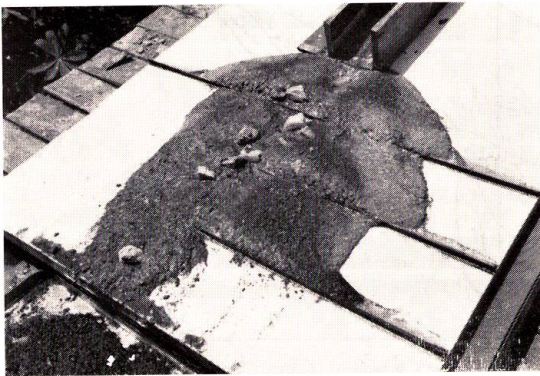


図-54. 模型実験の結果

り、第2・第3段の分散ダムの存在は、表面侵食に極端な制約を加えている。つまり、分散ダムの設置された部分では、溢流水は、横方向に分散し、わずかに細粒物質を側方に洗い流す程度で、斜面下方に達する土砂の運搬はなかった。

それに反して、分散ダムを設置しなかった部分においては、縦侵食の発達するガリーに、しだいに流水は集中し、一般的な表面侵食もいちじるしくなり、同

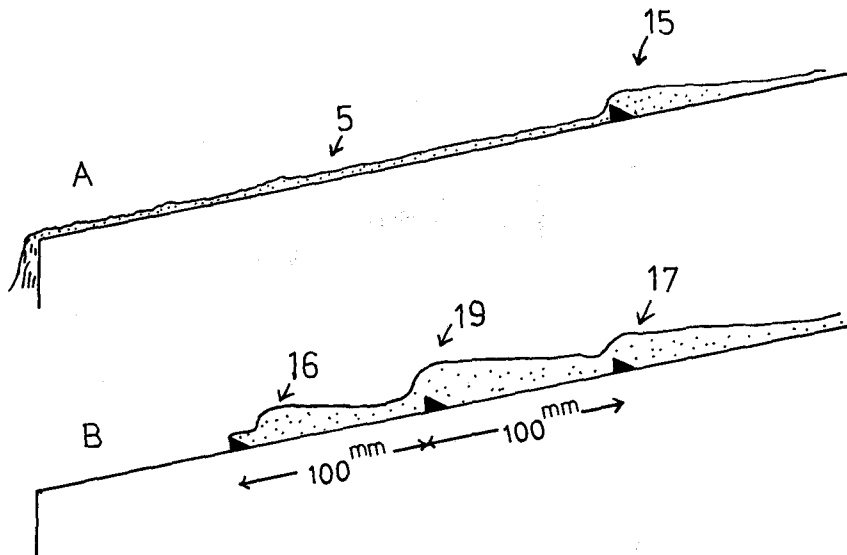


図-55. 模型実験による土石分散ダムの堆砂状況
 A: 単独ダムの場合の堆砂
 B: ダム3基を設けた場合の堆砂
 数字は堆積深 (mm) をあらわしている

一時間内に斜面下方にいたるまで、土石の移動がみられ、さらに、「れき」の洗い出された姿をみることができた。最終的な結果を模式的に示すと図-55のように、ダム群の構成が流動土石に対して強く影響していることがわかる。

この模型実験において、特徴的にあらわれている点は、つぎの点である。

- a. 狭さく部から流出した土石流は、拡幅部において、急激にひろがり堆積する。
- b. 細粒物質にもまれながら「れき」は転動しながら、斜面下方へ運ばれた。
- c. 分散ダムの天端によって、土石流は極端に横方向へ押しひろげられている。そして、ダム群の流動抑制効果は、単独ダムの場合より大きいことがわかった。
- d. 土石流頭部に後続する洪水流を想定した流水実験のなかで、ダム群による洗掘規制と、堆積地の縦侵食経過が、対照的な現象として示された。
- e. 土石流は、たんに水と堆積物の存在によって発生するのではなく、水と堆積物が、材料的条件と地形的条件によって、十分に攪拌された場合に生起するということが、洪水流の流下状態によって示された。
- f. これらのことから、既存の沖積扇状地に対して、土石分散ダムという人為的条件を入れ、扇状地の堆積と2次侵食を、ある程度調節できるということが明らかになった。

空間処理の意義と可能性

扇状地の地形面は、豪雨に際して、とくにいちじるしいが、それは、ダム天端によって、

洗掘現象をおさえた場合に、明瞭にとらえることができる。しかしながら、人為的に設けられるダム天端は立体的自然空間においては、個別的な線的な存在でしかありえないために流動する土石は、天端をのり越えたあともある程度運動をつづける。したがって、線的存在を面的にあるいは立体的に機能させるためには、計画的な数基のダム天端を配列することになろう。そして、これらの数基のダムが互に連関をもつときに、ひとつの目的をもつ空間が成立するのである。

このような方法は、過去の砂防技術において、意識的に採用されているわけではないが、自然の動的变化のもとにあって、人間の対応技術が低かった時代に多少生活経験のなかに保たれていたようにおもわれる。

すなわち、考古学が明らかにしつつある先住民の生活態様と土砂による埋没は、現在の防災技術が追求する生活と土砂害の関係からすると、「防災手段の原始時代」のすがたとみることができるのである。つぎにその1例をあげて考察してみよう。

1. ガバルバンドとリンチェット

いまから2千数百年前、西アジアの乾燥地帯に、インダス文明が誕生した。こんにち見るような砂漠地帯に、あのような強力な都市文明が栄えたことについては、発掘による遺構や遺物の研究のみでは、具体的にその諸様相を解釈する段階において限界があるとされている。

この種の問題に関して、小西正捷(1970)は、南部バルチスターン特有のガバルバンド(gabarband)という堰堤が、ナッラー(奔流道)や斜面に対してほぼ直角に築かれ、その上方において、耕作された跡を発見している。

これらの堰堤は、大形の石を積み上げた幅2.5m以上のもので、途切れながらも数10~100m以上にわたっており、これらのいくつかはもともと連続していたような形跡があるということである。

図-56は、全長およそ320m、最高3.6m、幅が約3mのガバルバンドの構築を示したもので、内部に60cmの沖積土が堆積しているという。普通のガバルバンドは、長さ数10mで、そのほとんどは、現在の高さまで水平に土砂で埋まっているということである。

これらのガバルバンドは、いったいどういう目的でつくられたものか、推測の域を出ないとのことであるが、STEINの説はつぎの3つであると紹介されている。

1. 雨期における斜面からの流水を制御し、それがいたずらに深く浸食されたナッラーに失なわれることなく、さら

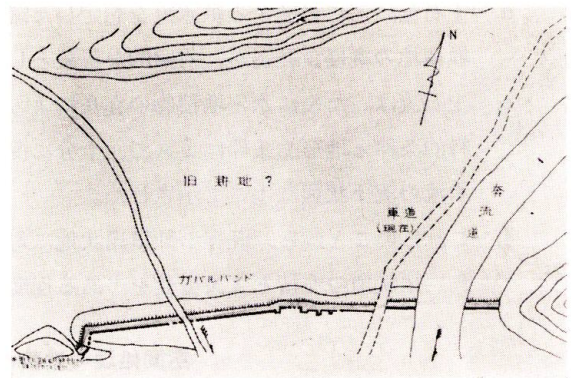


図-56. ガバルバンド (小西 1970)

に下流の耕地に一樣に灌水されるように設けられたもの。

2. 流水を一時的に貯水し、乾期における下流の耕地の灌漑用に供したものの(すなわち一種のダム、もしくは貯水池)。

3. 流水を一時的に堰止めることによって、堰堤内部に沖積土壌の堆積を促し、岩がちの谷あい耕地を設けようとしたもの(すなわちテラス耕作の一変形)。

しかし、これらの目的が、灌水用、貯水用、耕地用として確かであったかどうかはいまだに明らかでない。その堰堤の構造、規模などからみて、貯水としての機能は見出だせないが、RAIKESは、南部バルチスターンの農耕技術として、堰堤によって雨期の流水を集め、人工的な洪水状態をおこして土砂を堆積させ、図-57のように平坦な耕地をつくらうとしたと紹介している。この種のテラス耕作は、サイラーバ(洪水という意)とよばれているそうであるが、ガバルバンドと同意義をもつと断定できないそうである。この地方で古い堰堤をガバルバンド、すなわち「異教徒の堰堤」としている点をあげ、初期農耕文化の遺構であると説明している。

また、テラス耕作の例については図-58のように、多くのダムによって耕地がつけられているようであるが、天然の力を利用して、予定個所に生産の場をつくり出したという古い時代の生活の知恵には、おおいに学ぶべきところがある。いっぽう、このような砂漠地帯に当時の人口を支えるだけの農産物が収穫されたとすれば、気候条件すなわち雨量は、こんにちと全く異なるものであったということになる。

小西正捷によると、雨量はむしろ少なかったのではなかろうかと、強雨による堰堤破壊を想像しながら推論しているが、オーバーフローさせることを前提としたガバルバンドは、筆者の提唱する「土石分散ダム」ときわめて類似した点があり、この地方における原始時代の空間処理のひとつではなかろうかとおも

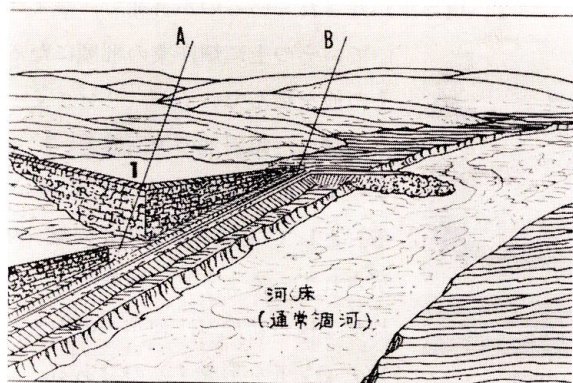


図-57. ガバルバンドの構造 (小西 1970)
A: 余水吐 B: 導水路



図-58. ガバルバンドと耕地 (小西 1970)

われる。

前掲の図にもみられるように、ふだんは降雨に乏しい地帯であるにもかかわらず、川や沢型が発達しており、不定期に降った豪雨によっていちじるしい土砂移動のあったことが示されている。わが国のように湿潤な地帯であれば、豪雨と豪雨のあいだに移動し堆積した土砂のうえには植生侵入がみられるのであるが、このような乾燥地帯で、そのような特徴はないのかどうか、この種の考古学研究に現在の時間指標の導入が可能になれば、地表面の変化とそれに対応して生きてきた人間の生活に関して、新しい知見が得られるものとおもわれる。

このガバルバンドが、農耕地を確保するための生産的なものか、居住地区を安全に保つための防災的なものか判然としないが、いずれにしても急激な土砂移動に対して長大なダムの上端によって、土石流のエネルギーを減殺することを採用している点は興味深いものがあり、現場的、総合的技術の真髄を示しているといえよう。

現代の土木技術をもってすれば、このような構造物は容易に築造することができる。しかし、築造技術の進歩はややもすると目的と手段の混乱を招き、いたずらに構造物の偉大さを誇る弊害をももたらしている。

そういうような意味であらためて原始時代における土木技術の長所をふりかえることも、けっして無駄なことではない。ガバルバンドがある空間における人間の意識的な行為であることを十分に理解できるならば、自然に逆らわない工法として構造物の計画的配置こそは、まさに空間処理の基本型となるとおもわれるのである。

また、ヨーロッパにおける古代の農地区画で、傾斜地にみられる断続したテラスを「リンチェット (lynchet)」とよんでいる。近藤・木村 (1969) によると、これは「未開拓の傾斜地の一面を等高線ぞいに何度も耕作すると、耕作でゆるんだ土壌は低い方に移動し、しまいにはその区画の下端にたまっておちつくことになる。そこで耕地の上方は、耕作のたびごとに少しずつ掘り下げられ、掘り返された土はまた移動し、ついには耕地に沿って段状の堆積を形成する。現在でも畑と畑の間には、鋤が入っていない境界畝が残されているのが普通で、農夫はた

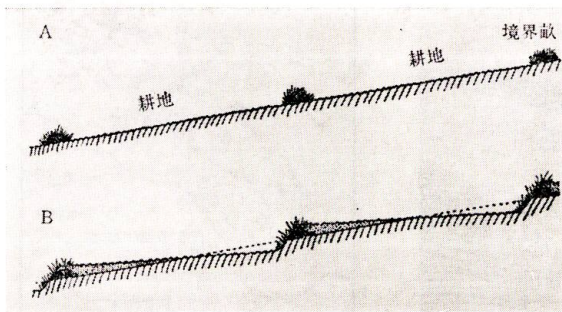


図-59. リンチェット (近藤・木村 1969)
A: 傾斜地にもうけられた2枚の耕地
B: 何年かの耕作ののち土が移動して
リンチェットを形成

いていその上に畑作業の邪魔になる石その他を積んでいるが、リンチェットも同様に、傾斜地の等高線ぞいに走るこのような境界畝に沿って形成される」としている。外観的に、図-59に示されているように、傾斜にもうけられた2枚の耕地が、何年かののちにリンチェットを形成するのである。

このような等高線状の土塁が、斜面上方からの土砂流を規制する能力を

もっている点については、わが国の傾斜畑にもみられるところであるが、さきにも述べたようなガバルバンドの洪水流に対応する方法と、その基本的原理は一致しているとみることができる。

2. 防災的空間の設定

沖積扇状地は、上流からの土砂が堆積する場所であるとともに、その場において洗掘された土砂を下流へ送りこむ場所でもある。したがって、土砂害防止の見地からすれば扇状地の下方に発達している集落をおびやかす土砂は、扇状地の扇頂部あるいは扇中央部の堆積土砂にはほかならないといえる。つまり、扇状地の歴史を探り、その個性をとらえて合理的な利用をはからなければ、将来予告なしに起こるであろう土砂の急激な移動によって、災害をこうむることになるのである。そして、これらの土砂害予防の唯一の手段が、砂防ダムであるとするならば、その機能的限界をわきまえ、それらの組み合わせがもたらすであろう可能性についても検討しておくべきであるとおもわれる。

上流からの流出土砂が多いところでは、大型の扇状地が形成される。そして、水と土砂の量的比較から相対的に土砂量の多い場所においては、扇状地の扇角が大きく、水量に比べ土砂量が多くない場合には扇角が小さいのである。極端な場合として、土砂が自然に崩落する崖錐の場合には、扇角とみられる堆積の頂部は直線状(180°)となる。これらを模式的に示すと図-60のようになる。

筆者の提唱する土石分散工法は、これらの扇状地において、ダムを40~50 m 間隔に配列し、それによって土砂移動を抑制しようと試みたものである。扇状地の大小にかかわらず、それらのダム間隔にかわりがない点を、どのように解釈してよいか目下のところ不明である。しかし大規模な扇状地においては、ダム間隔をほぼ一定に保ちながら、ダム基数を多くし、非侵

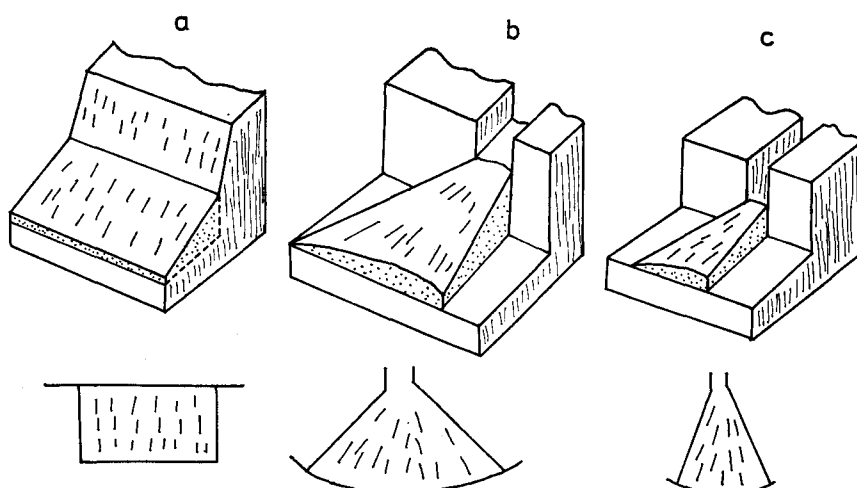


図-60. 崖錐 (a) と扇状地 (b, c) の堆積形態

- a: 土砂だけの場合 (流水なし)
- b: 相対的に流出土砂量の多い場合
- c: 相対的に流出土砂量の少ない場合

食面の構造を人為的に強化することによって、その目的を達することができるだろう。

構造物はその高さによって地上部の規模が表現される。扇状地において、もし一時的な土砂溜めをつくるのであれば、壮大な城壁をめぐるすことにもなるだろう。しかし、際限もなく流送される土砂をひとつの城壁で堰きとめることは、實際上厄介な問題を残すことになる。視点をかえて扇状地の地形をながめるならば、広範囲に広がって堆積する土石流を、必要以上に高く積みあげるのは、まったく自然に逆らった行為であり、自然の法則にそって、安全に堆積させるためには、低い構造物で長大なレベル状の天端を維持していくほうが賢明であるといえるのではないだろうか。

したがって、このようなダム構造と地表面の関係を扇状地の横断地形からみると、凹凸のはげしいところでは洗掘部のダムは高くなり、逆に堆積部のダムは低くなり、ときには現地地面より下方にもぐりこむことにもなる。すなわち、土石分散ダムは機能的な面から天端を基準として設けらるることになり、従来の砂防ダムでとられていたように、構造的な面からダム底面の条件をもとに築造されてきたのとは異なっているといわなければならない。

このような低ダムの天端によって土砂移動が抑制されると、そのダム下流側の地形は、直ちに变化し、以前にあった沢型は切断されてしまい、流路やガリーの固定化がすすまないようになる。したがって、1本の流路が寸断されることになり、土砂移動も新しい形をとるようになる。しかし、最下流部のダムよりさらに下流に位置している扇状地には、新しいガリーの発達が起こるから、いくつかのダム群による有機的関係を必要とするのである。

土石分散工法は目下試験的段階にとどまっているが、火山性荒地である有珠山、羊蹄山、富士山について具体的検討を試みるとするならば、おおよそつぎのようなことを提言できる。

a. 有珠山の施工例

有珠山南麓において、国有林管轄下の治山事業が本格的にはじめられたのは1958年で、それ以降現在まで継続されているが、筆者らの提唱している土石分散工法が1965年にはじめて採用され、その後胆振支庁管轄下にも波及し、図-61、図-62にみるようにおおよそ6haの範囲にわたって施工されてきた。そして、この方法が扇状地における土石流対策の新しい方法として注目され、昭和神山や羊蹄山においても実施されるようになってきた。

しかしながら、この方法は上方斜面つまり土砂の第一の供給源に直接の手を加えているわけではないために、緑化工的手法にとらわれた考え方を満足させるにいたっていないのである。その緑化工的手法とは、植生によって斜面を完全に被覆してしまえば、土砂の流出は起こらないとする考え方によっているものであり、傾斜畑のソイル・エロージョンと混同したような形のうえに成り立っているとみることができるのである。

山地の侵食が、植生の定着を阻害するほどの力をもっている点は、現実の斜面でよくみかけるところであって、いまさら言及する必要はないかもしれないが、土砂害防止の立場で植生

問題を論ずる場合には、すくなくとも一回は通過しなければならない課題でもある。

すなわち、有珠山南麓においても事情は全く同じであり、不安定斜面の植生は皆無かあるいは貧弱である。それは、過去に施工された山腹工の成績によっても明らかどころである。しかし、従来の治山工事は、ガリーの洗掘、堆積を抑制し、いわゆる「山脚固定」をまっけて、上流斜面の植生導入へすすむことを意図し、しきりにダムを築設してきた。既設のダムが予想外の地形面変化をもたらしたのも事実であり、いちじるしい例としては、既設ダムの倒壊を防止するためのダム系列を必要とするようになってしまった。

なお、系列化されたダムは、それらのダムとダムの空間において、土砂の移動を抑制するために、下流に対して以前にもまして洗掘現象をひき起こし、結果的に下流防災対象地へ土砂を送りこむことにもなってしまった。

ここで考慮すべきことは、既設のダムが崩壊物堆積地の一時的ガリーに設けられ、その流路を固定しようとし、自然に逆らっているという点である。もし、観点をかえて崩壊斜面脚部のある空間において流水と土砂移動を分離させる分散ダムが存在するならば、細分化されたガリーはいちじるしい洗掘力を発現するほどに成長しないのである。

つまり、1965年以來扇状地下方(図-50, Aの部分)において試みられた「空間処理」の方法を、上方(図-50, Bの部分)におしひろげ、より下方においては、脈絡をもたない網状の流路として消滅させ、やがては植生の繁茂にまかせるというエネルギー分散の手段が考えられるのである。

b. 羊蹄山の施工例

羊蹄山北麓なだれの沢および青木の沢においては、いわゆる土石分散工法をとりいれつつあるが、1960年から実施されてきた治山工事は、当初既存のガリーをいかにして固定させるかという点に目標をおいていたために、ふだん流水の無い涸れ谷であるにもかかわらず、溪床の

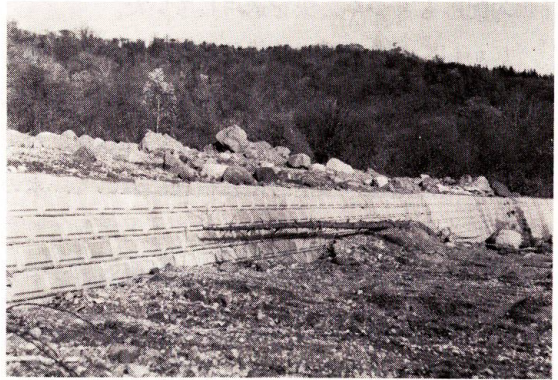


図-61. 土石分散ダムの効果 (大有珠南麓)



図-62. 扇頂部の土石分散ダムの効果 (大有珠南麓)

計画勾配にもとづく工法を適用していた。

しかし、この方法が最終目標を達成する以前において、自然のガリーに新しい変動が起こるようになったことは、各地の扇状地で紹介したとおりである。この種の事業計画のなかには、当然のように流路整備の工種もとりいれられたのであるが、完全に失敗に終わっている。すなわちこれは扇状地という土砂の堆積地において、水の運動を論ずるときに、土砂そのものの運動を捨象したために招いたミスということになるだろう。

筆者は、かねがね扇状地の土砂移動をコントロールするために、最小限必要な操作は、扇頂部の処理にあるということ、多くの扇状地観察から体験的にとらえてきた。しかし、その具体的実施は、治山事業、砂防事業の性質上、研究・教育機関に所属している者にとっては、手のとどかない分野であった。

幸い、事業を担当している当局との間にも、しだいに分散工法の意義が認められるようになってきたために、扇頂部における空間処理らしきものが出現するようになってきた。その好例としては、なだれの沢の扇頂部における最近のダム群をあげることができる。

1972年8月の豪雨に際して、大量の土砂が流出し扇頂部の床固工をのりこえた土砂・岩塊は、長い袖部をもった3基の床固工によって分散し、流水は扇状地下方のガリーに導きこまれ、いわゆる「分散処理」の成果をおさめている。

この場合には図-63にみられるように、床固工の放水路の存在よりも両側に長く連なっている袖部の天端が、きわめて有効な機能を発揮しているのである。もしこの光景から、新しい視点をもって



図-63. 床固工の袖部天端にうず高くのりあげた土石流の痕跡を示す岩塊群(羊蹄山)

土石流との対応を考えるならば、「ダムの袖部」に第一義的機能を期待してもよいことになろう。そして、このような長大な低ダム群の有機的な関連が、移動可能な土砂の抑制と、流出土砂に対する氾らん停止の空間となることは、きわめて自明の理である。

c. 富士山大沢扇状地の砂防計画

わが国で現在もっとも活動のはげしい扇状地は、富士山大沢崩れの下方に広がっている。その概観は前述したとおりであるが、扇頂部の地形的特徴として図-27(前出)にみられるように、上流からの流路と扇状地のガリーは必ずしも連結していない点を指摘することができる。

これは古い時代に形成された扇状地で、現在上流からの土砂流出が少ないところでは見ることの出来ない形態である。すなわち、長い期間大きな変動がなく落ちついている扇状地ではだいたいにおいて扇状地側方に流路が固定している。それに反して、しばしば土砂の急激な堆

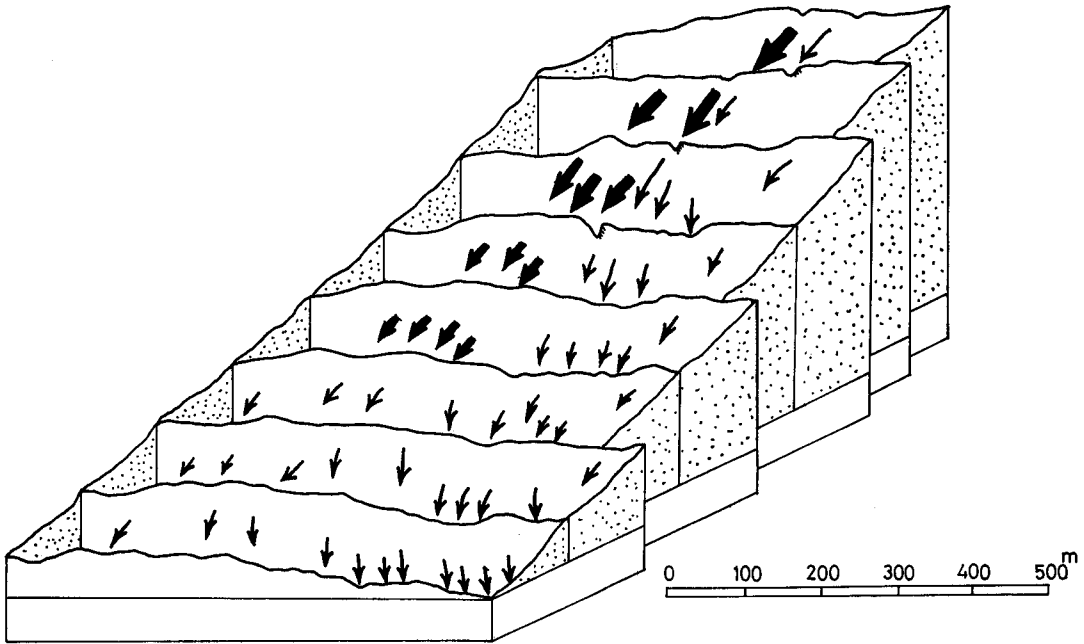


図-64. 大沢扇状地扇頂部の立体模式図
土石流 (太矢印) と流水 (細矢印) の関係

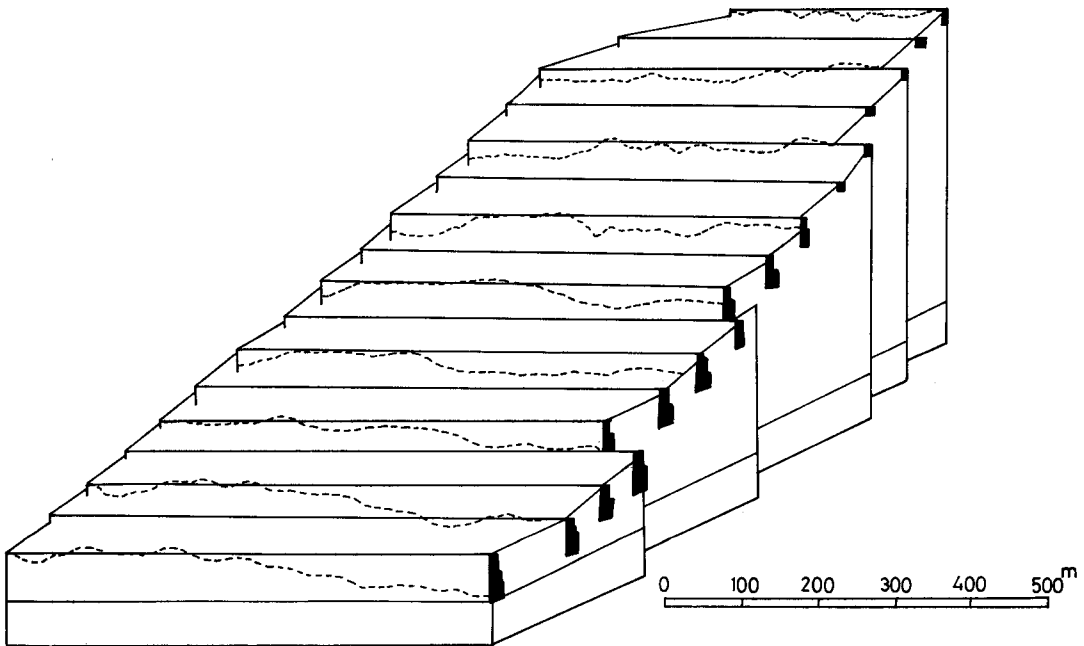


図-65. 大沢扇頂部のダム群配置図
ダム天端 (実線) と堆積面 (破線)

積が起るような扇状地では、扇頂部の堆積形態によって、「首振り現象」があらわれ、主水路は、ある方向性をもっているが、一般に不連続の水路が、あたかも毛細血管のような網目状のつながりを呈している。

そこで扇頂部の形態を立体的に表現してみると図-64のようになり、向って右側（左岸部）に相対的な低部が存在することがわかる。また、大量の土石を含む土石流が直進し、左側（右岸部）に堆積する傾向や、扇状地そのものにおいて、新しいガリーがしだいに発達していく傾向をよみとることもできる。

したがって、このような立体的空間において土石の分散処理を意図するならば、おおよそ図-65のようなダム群の配置になるものと考えられるのである。ダム間隔を50mとし、ダムの長さをできるだけ長くとってある。なお、土石流の直撃を受けやすい上流部のダムは天端厚を2mとし、下流部のものについては天端厚を1mとしてある。

これらのダムはいずれも上流法を土砂で埋め戻してしまうために、上流から流動してきた土砂は、いくつかのダム天端をのりこえたうえで、エネルギーを減殺され、氾らん停滞することになるのである。

なおつけ加えるならば、下流部のダムが、いずれも2次の洗掘に備えた「非侵食面の構成要素」として有効であるという点である。これによって、従来みられたような扇状地自体の2次侵食は防止できるのである。

それぞれのダムは、天端より下方の堆積土砂をおさえこんでしまい、半永久的に流出させないということになるから、このような施工面積は土砂コントロールの算定基礎を明らかにしていると同時に、またオーバーフローして堆積する土砂の許容量を見積ることも可能である。

扇頂部から半径(r)800mの区間で、扇角(θ) 60° の扇形の面積($\pi r^2 \times \theta \div 360$)は約32万 m^2 である。この面上に厚さ1mの土砂の堆積をみるならば、その土砂量は32万 m^3 ということになり、年々流出する土砂量と比較するとき、砂防計画上ゆるがせにできない数値ということができる。

これまで扇状地においては、その上に生立する樹木が、土砂の流出を防止しているとする解釈（東京営林局、1968）があったが、筆者は植物の生育が地表変動に支配されているという見地から、そのような解釈に対しては全く反対の立場をとらざるをえない。すなわち、植物は土砂の堆積後に侵入したという時間的前後関係を明確にしておけば、あまり混乱しないでもよい問題であると考えられるのである。

したがって、このような扇状地対策に際しても、植物的工法を優先させるのではなくて、土木的工法と巧みに結合させなければならないものとおもわれる。ここでは、分散ダムの空間に、後日植生を導入し、自然侵入と相まって、ひとつの森をつくることを目指してもよいだろう。

その森は、近時各地で唱えられているように、環境保全のための緑地として有効であることはいままでもない。いつ発生するかわからない土砂害に対して、人間が緑地空間を確保し、

緩衝地帯として意識的に公共的利用をはかるとするならば、防災的視点での高度土地利用の方向性も明らかになり、新しい空間開発の必要性を満たすことにもなる。

現代の土木技術をもってしても富士山大沢の源頭部を、崩壊しないようにすることはできない。幸い、そのことは直接に災害問題とはむすびつかないが、長年の間に供給された土石は、やがて下流の生活・生産をおびやかすことにもなるので、危険な空間の認知とそれに接近しない工夫、さらにはそのような危険地帯を、平常有効に利用する考え方をあみ出すことも重要である。

かりに、分散方式が採用されたとするならば、施工後においても流出してくるであろう土砂については、大型土工機械による排除や、さらには石材利用の方途も開けるほど、コントロールしやすい形になるとおもわれる。したがって、このときこそ「土石生産」という用語が、真の意味をいいあらわすものになるとおもわれるのである。

なお、筆者が目下研究中の「溪流における低ダム群工法」を図-66のように扇頂部の上流部、下流部に連結させることにより、扇状地への土砂流送と、下流部の流水誘導は、きわめてスムーズになるだろう。

ま と め

限りある土地空間を有効に利用するためには、土地のもっている本来の個性を十分に認識していなければならない。かつて、物的資源開発に焦点をあわせていた時代には、土地は生産手段のひとつとして位置づけられ、複数の利用計画はたてられていなかった。しかし、最近みられるような空間的開発、すなわち土地資源に対する関心のもとでは、ある特定の空間が単一目的のために利用されるということは許されなくなってきた。

いっぽう、あらゆる生産や集団生活を許容する空間は、相対的に平坦な地形においてより多く得られる。つまり、高地、山地、斜面という地形学的概念を入れると、そのような空間はそのまま不利な条件として扱われてもよいといえることができるのである。

こんにちみるように、人間の集りやすい場所は刻々と都市化し、地形的制約を打ち破ってしまうかのような勢で郊外周辺に広がり、ところによっては、山麓部はおろか斜面の地形改造を行ない、急崖の脚部に新しい居住空間を求めようになってきた。

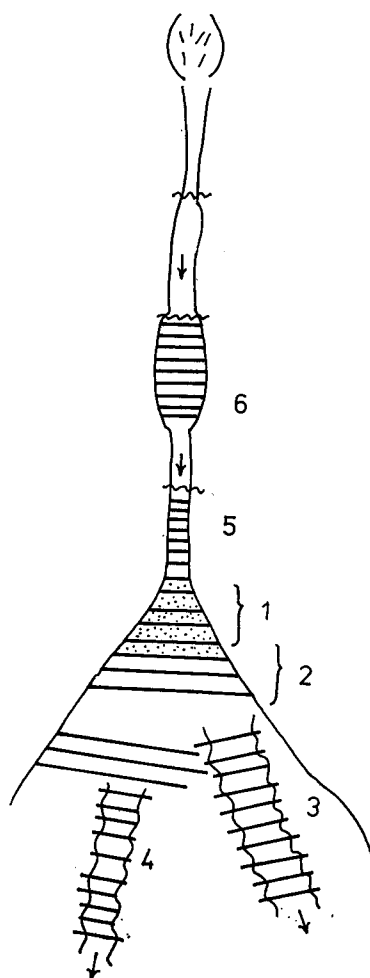


図-66. 大沢扇状地の砂防計画
数字は施工順序を示す

かつてはかえりみられなかった無水地帯の火山山麓も新しい土地利用の典型となり、好ましくない土砂害の危険地帯となりつつある。とくに、山麓の沖積扇状地は地学的時間でみればごく最近形成されたといえるもので、その成立の歴史あるいは現在の動の実態を見誤るならばきわめて遺憾な結果をもたらすであろうことを銘記しておかなければならないのである。

本来、砂防技術はこのような沖積扇状地において、急激な土砂移動を規制し、災害を未然に防止することを建前としているのであるが、現在の都市化現象に対して、これまで発達してきた技術で、十分に対応できるほどにいたっているとはいえない。

つまり、砂防ダム機能の限界を知り、それを拡大させようとはかかれば、かつて先人が試みた自然介入の意義と、それによってもたらされた結果を現在の段階において吟味し、新しい知見を加えなければならないのである。

筆者はそのような意味で、既設の施工現場において、ダム機能について検討するとともに、扇状地自体の動向を、樹木年代学的手法で探り、さらに一步つつこんで、土石分散方式のダム配置を試み、その結果として、流動する土石を空間的に処理することの必要性と可能性をみいだすにいたった。

すなわち、人間だけが作り出せる非侵食線を、「砂防ダムの天端」という形で面的に、また立体的に組み合わせることに成功したのである。この場合のダムは従来の砂防ダムと形態を異にし、ダム高が低く、堤長は大きく、その天端は全面放水路として流動土石をオーバーフローさせ、その結果、土石を広く堆積させるのである。みかたをかえると流路を人為的に切断し、流水のエネルギーをカットするところにねらいがあるといえよう。

広大な沖積扇状地において、いちやく侵入する先駆植物からも前述のような土砂の動向を知ることができるが、そのことはダムの有機的な配列によって作り出される地表形態からも類推できる。したがって、土木的工法に組み合わせるべき植生工も、ひとつの安定した空間において、はじめて実現可能であるとみななければならないのである。

なお、これらの動的形態は模型実験によって再現することができる。その場合に、土石流の材料となる水、土砂、岩塊のうち、土砂の縮小化を考慮して、本研究では市販の小麦粉を用いた。泥流物質と岩塊との混合した運動と、土石流後尾につながる集流水の運動とは全く異質である。岩塊を大量に含む土石流先頭部が、ダムをのり越えて堆積した後に、土石流後続部の流水は堆積物質を洗い流すために、現地では累積した岩塊の山をみかけるが、そのような現象を模型化によって作り出すこともできるようになった。

要するに土石流の処理については、はかりしれないエネルギーを特定の空間において、無害な形に爆発させる必要がある。それには、土石流が生成し発達するような地形的条件と逆になるような空間を作り出し、さらに抑制効果をもたらすような地表面の処理を施さなければならないのである。

本論文で述べた土石分散工法は、まだ本格的な実施段階にいたっているものではないが、

特定のダムサイトを必要としない方法であるだけに、土砂移動のはげしい多くの場所に適用できるものであり、将来一般化されるものとして、さらに検討していくつもりである。

この研究に関しては、永年にわたり国有林、建設省、都道府県、市町村の治山、砂防関係者に多大のご援助を受けた。また、卒業論文の中心課題として研究室全員の熱心な討論を経ながら、野外科学の手法をとりいれてきた。少なからぬ関心をよせられた関係者各位に、この小論をもって感謝の意をあらわしお礼にかえたい。

参 考 文 献

- 新谷 融 (1971): 荒廃溪流における土石移動に関する基礎的研究. 北大演報, 28, 2, 193-258.
- 藤原滉一郎・村井延雄・小野寺宗昭 (1968): 羊蹄山ガリーの土石の流下と堆積について. 新砂防, 71, 15-21.
- 函館営林局造林課 (1963): 有珠山の実態と治山事業計画——火山性荒廃地復旧の特別調査——. 治山業務報告 No. 1.
- 東 三郎 (1966): ウブソノッタ扇状地のトドマツ天然林を見学して. 北見林友, S. 41. 10, 29-41.
- 東 三郎・鈴木 守 (1967): 耐埋没性樹種の防災的意義. 日林北支講, 16, 122-125.
- 東 三郎 (1968): 昭和新山山麓の治山植栽について. 昭和新山の治山, 12-28.
- 東 三郎 (1970): 流動土石の分散処理に関する考察. 新砂防, 75, 1-16.
- 東 三郎・鈴木 守 (1970b): 大有珠崩壊地の実態とその対策. 伊達町の地質, 46-66.
- 東 三郎 (1971): 低ダム群工法による溪流工事の計画と設計. 日林北支講, 20, 235-239.
- 東 三郎・藤原滉一郎・新谷 融・村井延雄 (1971b): 樹木年代学からみた地すべり地の推移. 北大演報, 28, 2, 339-419.
- 東 三郎 (1973): 森林施業に関連する流域調査の方法. 北大演報, 30, 1, 69-102
- 堀米庸三編 (1965): 現代歴史学入門. 有斐閣.
- 井尻正二 (1966): 科学論. 築地書館.
- 岩塚守公・町田 洋 (1962): 富士山大沢の発達——火山の谷の発達と侵蝕機構についての基礎的研究——. 地学雑誌, 729, 3-18.
- 飯塚 肇 (1963): 堰堤堆砂礫の構成と治山堰堤の必要量について. 治山事業調査報告書, 16.
- 建設省中部地方建設局静岡工事事務所 (1968): 安倍川上流部崩壊地調査報告書.
- 建設省土木研究所 (1970): 富士山大沢崩れの砂防計画——扇状地砂防計画に関する調査および水理模型実験 (1). 土木研究所資料, 572.
- 建設省河川局砂防課・土木研究所砂防研究室 (1970): 「土石流に関する研究」調査実施要領. 第24回建設省技術研究会.
- 北見営林局 (1968): 常呂川流域保全調査報告書.
- 木沢 綏・飯田睦治郎・松山資郎・宮脇 昭 (1969): 富士山——自然の謎を解く. NHK ブックス, 91.
- 近藤義郎・木村紀子訳 (1969), V. G. チャイルド著: 「考古学とは何か」. 岩波新書, 703.
- 小西正捷 (1970): インダス文明の興亡に関する気候学的・水利学的知見 (1). 水利科学, 72, 71-90.
- 熊本営林局 (1964): 島原治山事業所概要.
- 増岡祐一 (1968): 昭和新山山麓における土石汜らん原の実態. 北大農卒論・手記.
- 松倉 敬・国谷三喜男 (1970): 有珠山山麓における治山計画. 第9回治山研究発表会論文集.
- 三浦岱栄訳 (1960改訂5刷), クロード・ベルナル著: 実験医学序説. 岩波文庫, 1847-1849a.
- 水山高幸・守田優訳 (1969), W. M. デービス著: 地形の説明的記載. 大明堂.
- 村井延雄・東 三郎・藤原滉一郎 (1963): 羊蹄山火山性荒廃地対策基礎調査——植生調査・土砂れき移動・侵蝕調査. 北海道林務部資料.
- 日本麦類研究会 (1964): 小麦粉——原料とその加工品——.

- 荻原貞夫 (1966): 水害と治山. 水利科学研究所
- 奥角 惇 (1969): 大有殊南麓のガリーによる氾らん原の実態. 北大農卒論・手記.
- 太田重良・恵飛須行光 (1963): 火山性荒廃地の治山工事の一例 —— 昭和新山 ——. 第2回治山研究発表会
論文集, 5-13.
- 大塚洲弘 (1962): 羊蹄山ナダレの沢堆積地の侵食. 北大農卒論・手記.
- 林業土木コンサルタンツ (1968): 第2次利尻島特定地域調査報告書.
- 清水 宏 (1970): 溪流における土石の堆積と堆積土砂の再移動について. 北大農修論・手記
- 新出和雄 (1972): 地すべり地帯の溪流砂防に関する研究. 北大農卒論・手記.
- 静岡県 (1961): 富士山大沢崩対策 —— 委託調査結果報告書 (昭和35年度).
- 田畑茂清 (1969): 流砂の形態とその堆積特性について. 新砂防, 74, 9-15.
- 田上省一 (1968): 昭和新山泥流斜面の木本侵入. 北大農卒論・手記.
- 多々内順二 (1970): 富士山大沢くずれにとりくむ. 建設月報, 255, 28-36, 建設省広報室編.
- 東京営林局治山課 (1968): 昭和43年度富士山大沢崩れ扇状地対策調査報告書.
- 津屋弘達 (1968): 富士火山地質図 (1:50,000). 地質調査所.
- 矢沢大二・戸谷 洋・貝塚爽平編 (1971): 扇状地 —— 地域的特性 ——. 古今書院.

Summary

When a stream descends from the mountains to a plain, it loses velocity and deposits much of its sediment at the mouth of the narrow valley. Such a deposit is called an alluvial fan. These fans are especially common at the foot of volcano. Deposition on an alluvial fan is like that on a small delta.

After projecting from a valley the debris flow is no longer confined, both the depth and the gradient may be lowered abruptly and the stream can no longer carry its load.

In the fan deposition is also hastened because most of the water is promptly lost by infiltration. Relief of the fan, indicative of different degrees of loading at different floods, also the dissection by distributaries on the upper surface of the fan.

The gullies on the surface of the fan show that it has been partly dissected since it was deposited either because of an increase in water supply or because of a decrease in available load upstream.

The eroded material is brought down by the gully and deposited as silt along its lower course, thus providing new habitats for vegetation.

On a fan formed of debris the succession is much quicker and pioneer trees play the leading part.

It is obvious that the colonisation of new ground or of bared or partially bared ground must depend on the species of plants available to colonise it.

Artificial base level is needed for establishing or restoring a protective cover of vegetation in areas where heavy rain ordinarily accelerates rill and gully erosion.

It is advisable to spread the water as evenly as possible over the area and to control the velocity so that the maximum intake may be obtained with minimum of erosion.

Dispersion of mud and rock are accomplished primarily by the proper spacing of the crown of spreader.

Where large quantities of rock are involved, it is also desirable to give consideration to its even distribution as nearly as may be practicable. This may require some adjustment in the rate of flow by means of properly located spreader structures to take out part of the silt load so as not to concentrate too much coarse sediment near the point of diversion.

This methods of construction and the location and type of structure are largely controlled by the local conditions and experience of those charged with installation.

For the most efficient use of available dikes, the spreading system must, of course, be fitted to the presumed amount of runoff, the size and surface configuration of the alluvial fan.

Where runoff concentrating in a broad, shallow gully or wash is to be spread over adjacent areas, a series of dikes provide one of the simplest means for diversion and spreading.

Partial diversion from large gullies may necessitate the construction of a combination type of overflow diversion dike for by-passing minimum or normal flow and for controlled diversion of flood flows.