

地形条件からみた扇状地の土砂災害について

大 石 道 夫

国立防災科学技術センター第2研究部地表変動防災研究室

水 谷 武 司

国立防災科学技術センター第1研究部災害研究室

On the Topographical Factors of Flood Loading with Detritus on Fan-Surface

By

Michio Oishi and Takeshi Mizutani

National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo

Abstract

From surveys of the recent disasters in alluvial fans, it is confirmed that a pattern of detritus spreading over a fan-surface is closely related to its topographical characteristics. Topographical analysis of seven alluvial fans at the foot of the Yoro fault scarp shows that the intersecting points of river bed profiles and fan profiles are highly correlated with the degree of dissection of fan-surfaces and with the hypsometric integral of drainage basins.

From this point of view fans with radii of one to two kilometers can be classified into three types as follows:

- 1) A profile of river bed lies above a profile of a fan-surface as seen in a ceiling river.
- 2) A river bed profile intersects a fan profile, and a flooding point coincides with the intersecting point.
- 3) A profile of river bed lies below a profile of a fan-surface as a kind of dissected fan in which a flooding area is restricted to a dissected channel.

1. ま え が き

扇状地性山麓堆積地形面*あるいは扇状地は、平地の少ない山間部では、耕地や居住地としてひろく利用されてきた。また平野に接する扇状地では、水が豊富に得られる扇端部は、古くから耕地あるいは集落が発達した土地であり、水が得にくいため開発が遅れていた扇中央部も、取水のための頭首工、導水路などが整備され、耕地、部分的には居住地としての利用が進んで

* 山麓に発達する扇状地性堆積地形には、扇状地 (fan)、沖積錐 (alluvial cone)、崖錐 (talus)、麓層面 (colluvial slope) などがあるが、本報では崩壊土砂が掃流形式によって運搬され、堆積したと考えられる扇状地、沖積錐につき検討している。

いる。最近ではとくに都市化の進んだ扇状地で山地内への進展が著しく、また奥地開発、観光保養地の進出などにより、扇状地の開発と利用はますます進みつつある。

これらの扇状地は豪雨時に最も被害を受けやすい土地である。昭和42年の羽越水害では、被害の多くが荒川・加治川・阿賀野川等の支川が形成する扇状地に位置する集落のこうむった土砂災害によるものであった。また41年には台風26号により山梨県足和田村、根場部落に、40年には福井県西谷村とくに中島部落を中心として大きな土石流災害がおり、扇状地の災害とその上の集落の立地の問題がクローズアップされた。また42年の神戸市・呉市災害のように扇状地の土砂災害は都市域の災害としても問題化している。

このような土砂災害は、地形発達史的には、山地の浸食・堆積過程の一断面であり、したがって現在の地形は、過去の土砂の流出・堆積の履歴を反映しているものと受けとることができる。このような立場から、現在の地形を手がかりとして、過去の土砂流出・堆積の過程を復元し、そこから将来を予測することは、土砂災害を究明する有効な方法の一つであると考えられる。

扇状地の土砂災害を考える場合、まず災害を受けやすいステージの扇状地と、安定したステージにある扇状地とを識別することが必要である。現在の河川の営力では、扇面への一次的な砂れき流送範囲はさほど大きくない。河道内のみを流下する場合はともかく、扇面へのはんらんが生ずる場合、土砂流の流速は急速に低下して、かなり狭い範囲内で堆積が終わってしまう。半径10kmもあるような大規模な扇状地を形成する営力は、現在のそれとは異なるものと考えざるをえない。大規模扇状地は、気温が低下し氷河気候、周氷河気候下で多量の砂れきが山地内で生産された洪積世氷河期、およびその直後に形成されたもので、安定した扇状地と考えられる。現実に土砂災害が頻発しているのは、小溪流溪口部や溪間の堆積面である。したがってここで土砂災害に関連して問題とする扇状地は、砂れきの一次的流送範囲内で形成される程度の規模（半径2kmぐらゐまで）の沖積錐、溪間扇状地、崖錐などに限定することができよう。

地盤運動や、基準面の変動や、火山活動などによる浸食の若返りによって、安定な面が不安定化することがある。また火山活動や地震など内的営力によるアクセントによって、安定な面に大規模な堆積が生ずることもあるが、これらアクセシデンタルな現象は別に考えることとする。

つぎに最近の二、三の扇状地災害例につき、上にのべた地形条件との関係から考察してみることが、その前に予備作業として、5万分の1地形図から識別できる程度の扇状地を摘出し、わが国における扇状地の分布を概観してみる。地域別の扇状地数は表1のとおりである。（ ）内には典型的に発達した扇状地の数を示した。

図1にこの分布を示したが、図を一覧してわかるように、東北地方およびフォッサマグナ地域の盆地に集中して分布しており、典型的なものはこれらの地域で全体の7割も占める。地質

表 1 日本における扇状地の地域別分布

地 域 別	扇状地数	主 要 分 布 地 域
北海道	17(1)	中央盆地群 十勝平野
東北・関東	69(18)	
太平洋盆地群	15(9)	北上・福島盆地
脊稜盆地群	30(7)	横手・山形盆地
関 東	5(1)	
新 潟	1(1)	六日町盆地
フエッサマガナ地域	62(25)	
山間盆地群	53(23)	
松本平	16(10)	
伊那谷	12(4)	
甲府盆地	10(5)	
中央日本	26(7)	
北陸平野群	14(6)	富山, 金沢, 福井, 武生の各平野
西南日本内帯	45(4)	
畿内盆地平野群	15(2)	近江・奈良盆地
中国地方	4	大山
四国地方	9(2)	讃岐・予讃・松山平野
九州地方	14	筑後平野
西南日本外帯	25(3)	紀ノ川・人吉・都城盆地
吉野川流域	10(3)	
計	244(58)	

構造線・断層に関係するものが大部分で、断層谷、構造盆地の縁辺に沿った線状の分布様式を示す。地質構造を反映して東北日本・近畿地方の内帯域は南北に配列し、西南日本外帯は東西に並ぶ。高山に源を発し、運搬砂れきが多い河川が直接平野に流れ出ると黒部川・常願寺川・庄川のように、大規模な扇状地を平野への出口につくる。信濃川・天竜川・最上川のように途中に盆地があると、そこで砂れきを堆積してしまうので、平野への出口では扇状地をつくらない。大きくみて扇状地は東北日本に多く、西南日本に少ない。これは砂れきの生産地としての高山の有無、好適堆積地としての山間盆地の多少にもよるであろうが、おそらく、砂れきの生産・流出に関係する気候条件、とくに洪積世氷河期の古気候の地域差がかなり関係しているの

であろう。氷河期には気温が現在よりも6～8℃低かったと推定されており、したがって、凍結・融解による岩屑の生産が著しい寒冷気候下の地域が現在よりもはるかに広がったであろう。扇状地の形成にはある程度の広さの堆積平坦地が必要で、中国山地には格子状の断層系が発達し断層谷が多いが、谷底が狭いためもあってか扇状地はほとんどない。

2. 扇状地における土砂災害の具体例

—地形条件との関係において—

2.1 新潟・大日原扇状地

42年8月新潟県北部地方を中心に前線性集中豪雨が降り、荒川、加治川、阿賀野川などの流域で大規模な山地崩壊・土石流出が起こり多大の被害が発生した。菱ヶ岳北西麓の大日原扇状

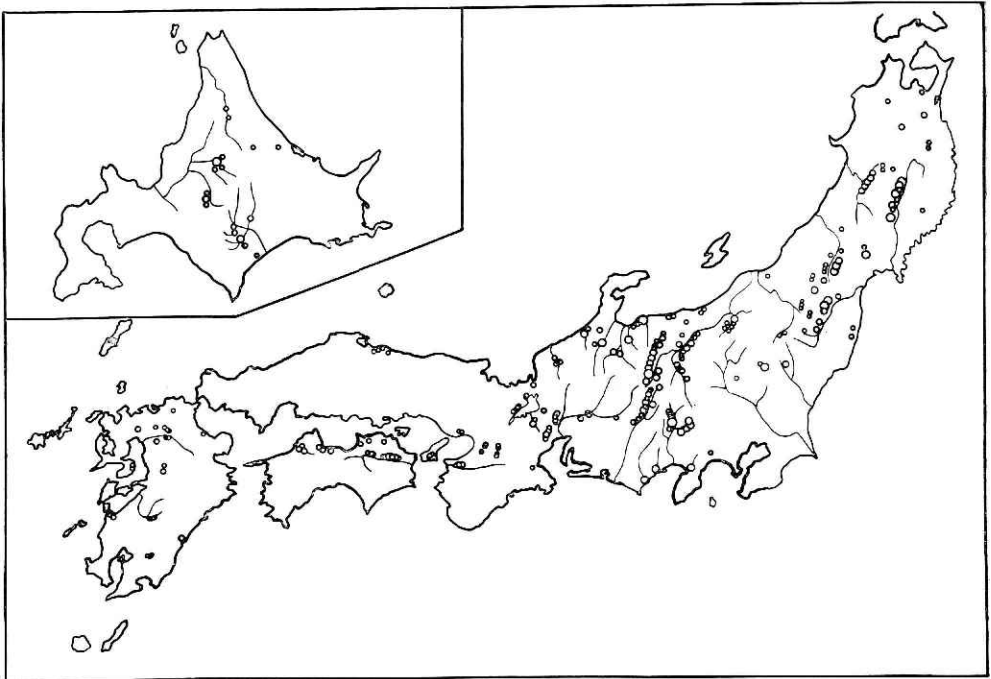


図 1 扇状地分布図

地では図 2のごとく、流出土石が扇面にはんらんして扇状に堆積した。(隣接の都辺田部落では都辺田川からの流出土石により、家屋損壊11戸、死者6人の被害を出している)。大日原扇状地をつくる堀越川は、流域面積1.93km²、起伏量720m、流域平均傾斜 32°10' のかなり開析の進んだ細長い形状の流域である。地質は花崗岩で、表層では褐色の風化土層が厚い。河道側面には何段もの土石流堆積物が残っており、扇頂付近では3段の土石流段丘が識別できる。左右に隣接し平行して流れる都辺田川、里川は堀越川と類似した面積、形状の流域を有し、同種の花崗岩からなり、隣接しているので同一気象条件下にあるが、扇状地の規模は堀越川がはるかに大きい。このような

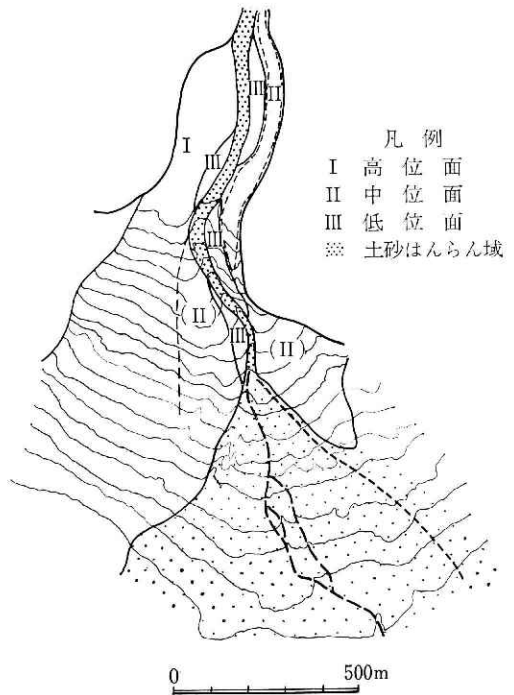


図 2 大日原扇状地土砂はんらん図

流出土石量の大きな相違をもたらしたのはいかなる条件であるかは今後検討したい。

今回の豪雨による降水量は、北に2 km 離れた村杉における観測値によると、最大日雨量250mm、最大時雨量58mmであった。前年の41年7月にもこの地域に集中豪雨が降り、加治川などが破堤し、低地部に広くはらんしたが、山地の崩壊はほとんどなかった。この2回の豪雨による赤谷、二王子岳の雨量は表2のごとくである。雨量に大きな差はないが、山地崩壊、土石流出量は圧倒的に42.8豪雨の

表 2

	42.8 豪 雨	41.7 豪 雨
赤 谷		
最大日雨量	353 mm	225 mm
最大3時間雨量	86	66
最大1時間雨量	50	36
二王子岳		
最大日雨量	337	263
最大3時間雨量	86	64
最大1時間雨量	39	24

方が多いので、この二つの雨量の間で崩壊発生臨界雨量が求められそうである。

大日原に新しく堆積した土石量は約40万m³ (面積0.4km², 堆積深平均1 m)で礫の長径は最大3 mに達するが、0.5~1.0m程度のもが多い。平面的にみた堆積のパターンは、粗粒砂の部分と礫の部分が交互に流れの方向に帯状に分布している。礫の部分では表面ほど大きい礫がみられた。上流域山腹の崩壊は、大部分が表層土のはく落的なものなので、土石の供給源は上流の河床堆積土石および土石流段丘堆積物である。現地観察および災害前後の空中写真の比較によると、河床の洗掘、土石流段丘の側刻および沿岸崩壊が著しい。旧扇面の表層は腐植層が10cm もあるので、土石流出の時間間隔はかなり大きいものと推定される。

堆積土石は扇央部のある地点で河道から扇面にあふれ、約80°の角度で扇状に広がり、8/100~10/100のこう配で堆積している。この扇面へのはらんが始まる地点の地形条件を、災害前の空中写真の図化によって調べた結果、河床の縦断と、河道付近の自然堤防状の高まりを除いて想定した平均扇面の縦断との交点付近からはらんが始まっている。はらん開始点は旧流路の屈曲点にあたり、流出土石はその水衝部の高所を大きくのり越え、一部を削って扇面にはらんしている。右岸側には旧流路と思われるガリー状の凹地が続いているが、新流路はそこをとらず、より高い堆積の中央を流下している。一般に扇状地、とくに急傾斜の沖積錐では明瞭であるが、自然堤防状の高地は流路を中央にして下流に開いた扇状形をなしていることが多い。これは過去の土石流がその頂点部分で扇面にはらんして堆積し、新流路は堆積の中央を流れていることを示している。堀越川の場合でも、今回ののはらん開始点から約400m上流を頂点とした扇状堆積地形が残っており、そのとき埋め残されたと思われる旧流路が扇央部にガリー状に残っている。右岸側にかなり上流まで続いている面(大規模土石流によるもの)の形成後、大規模土石はらりは少なくとも2回あり、はらん開始点はしだいに下流へ移動していく傾向がうかがわれる。

2.2 新潟・石間扇状地

阿賀野川本川に直接流入する右支溪の石間川で、42.8羽越水害時に土石流が発生した。ここは段丘化した溪口堆積地であり、3段の段丘が識別できる。高位面は現河床との比高約10mの急こう配の面で、古い大規模な土石流によって形成されたものである。中位面は現河床よりゆるいこう配をもち、高位面をけずってつくられた広い河床内および高位面の先端に接続して分布する。地盤運動による阿賀野川水位の相対的低下によって形成されたものであろう。下位面は阿賀野川の堆積作用によるもので、きわめて低平である。このようにこう配が異なった3種の面が存在する。流出土石は二支流が合流し河床幅が広がる溪口部で急こう配に厚く堆積し、さらに流下した土石は中位面にのり上げているが、しだいに現河道にもどっていき、下流では中位面にはんらんしていない。下位面は本川によってつくられたもので、支川の営力を直接うけにくい位置にあるので、低いにもかかわらず支川からの流出土石のはんらんをまぬがれている。はんらんの範囲は流出の規模にかなり関係するが、しかし現河床こう配と各地形面のこう配および位置によっても規定されることがわかる。

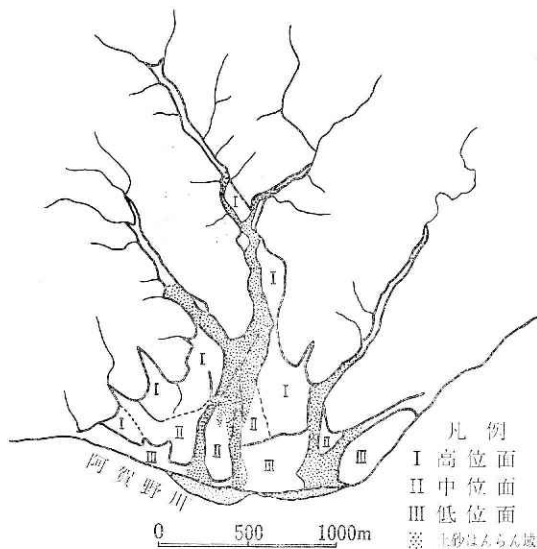


図3 石間川扇状地土砂はんらん図

2.3 伊那大草扇状地

天竜川中流の伊那盆地には、隆起扇状地性の河岸段丘がみごとに発達している。大草扇状地はこの河岸段丘の上部に続く堆積の進んだ小規模溪間扇状地である。谷は段丘面を深く下刻して天竜川に合流している。36年の伊那谷豪雨時この谷で土石流が発生し被害が生じた。流出土石は上流の溪間部では、最高位の段丘を除いたより低位の面を全面おおってはんらん、流下しているが、扇端部へくるとしだいに河道へもどって、それから深く下刻した河床内のみを流下している。河道に収れんする位置は、扇面を流れている谷が急に下刻をはじめの地点付近である。ここは下流から進行する下刻と、上流からの埋積がつりあう地点であろう。この地点から上流の扇面は、ひんぱんに土石の堆積が行なわれてきた面であろう。ここでも河床と扇面の交差位置が土石はんらんに関係している。なお河道の屈曲部では高位面にも土石がのり上げており、(図4 a 地点) 尾根末端の射影部分では低位面でも土石の堆積をまぬがれている。

(図4 b 地点)

一般に隆起扇状地では溪流は扇面を下刻するので、土石はんらんは狭い河床内に限られる

が、まだ上流域からの土石供給が多い若いステージにある扇状地では、扇頂部で堆積作用の方がまさり、河床は高くなって扇頂部が土石はんらんを受けやすい面となっている。

3. 扇面の縦断と河床の縦断との交差位置について

扇状地土砂災害の事例および多数の扇状地の地形観察から、扇面と溪流の交差位置が土石はんらんがはじまる位置、したがって災害をうける扇面部分に関係があることがわかった。そこでこの交差位置に着目し、岐阜県養老山地東面の断層崖下に発達する沖積錐群を例として、交差位置と扇状地の発達ステージとの関係について考察してみた。

養老山地は濃尾平野の西縁に位置し、標高600~800mで、北北西から南南東の方向に長さ22km、幅8kmにわたってひろがる傾動地帯である。東側を落差2,000m以上の大断層によって限られ、断層崖は壮年的に開析されて、山麓部に連続した扇状地が形成されている。扇状地は最大のもので半径2km程度の急傾斜小規模扇状地で、大規模崖錐状の若いステージのものから、開析をうけたかなり古いものまで、各種のステージのものが存在している。いずれの溪流も古生層の砂岩・粘板岩・チャートからなり、走向は山脈の長軸方向にほぼ一致しているので、地質条件は同一とみなしてよい。扇端はすべて揖斐川をつくる低平なデルタ性平野に接続している。

これら扇状地群の中から七つの扇状地をとりだし、扇状地および上流山地の各種の地形要素を計測して、交差位置の意味するものを検討した。作業は扇状地については国土地理院作成の1/5,000 国土基本図を、上流山地については地元町村作成の1/10,000 および1/25,000 地形図を使用して行なった。各扇状地の地形要素は表3のごとくである。

交差位置 扇面を流れる溪流は自然堤防状の高地を流れる傾向がある。急傾斜小規模扇状地ではとくにその傾向が著しい。磐若谷ではこの高まりは10mにも達する。これは、規模・形状・人工の加わった年代等からみて、河道の人為的固定化によって形成されたものではない。溪流はこの高地をけずって流れるが、扇頂部では下刻量は大きく、扇端部では天井川になるので、扇面の縦断と溪床の縦断とは交差する。各扇状地の規模は異なるので、交点から扇頂ま

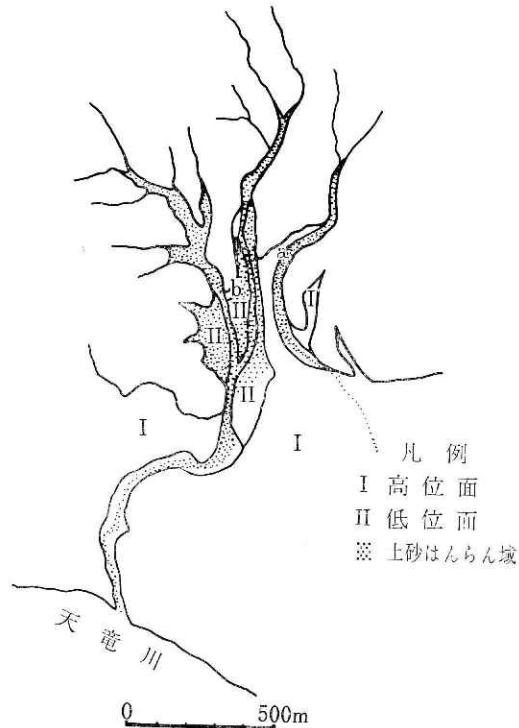


図4 大草扇状地土砂はんらん図

表3

	山崎南谷	山崎北谷	滝谷	志津北谷	磐若谷	小倉谷	円城寺谷
交差位置	0.689	0.677	0.560	0.475	0.423	0.376	0.270
扇面開析度	1.13	1.13	1.07	1.09	1.06	1.03	1.02
ヒプソ積分	0.453	0.470	0.518	0.496	0.552	0.504	0.555
起伏量比	0.385	0.235	0.345	0.340	0.246	0.304	0.463
流域面積(A)	0.70km ²	1.47	2.07	2.44	2.23	2.83	0.80
扇状地面積	0.30km ²	0.86	1.68	0.93	1.01	2.33	0.25
扇面こう配	70/1000	70/1000	73/1000	58/1000	81/1000	74/1000	133/1000
扇面半径	1.0 km	1.0	2.0	1.3	1.2	2.1	0.6
扇状地体積(B)	—	1.8×10 ⁷ m ³	7.7×10 ⁷	2.1×10 ⁷	2.6×10 ⁷	1.1×10 ⁸	4.5×10 ⁶
上流域浸食量(C)	—	4.4×10 ⁸ m ³	6.9×10 ⁸	8.0×10 ⁸	5.8×10 ⁸	9.8×10 ⁸	1.9×10 ⁷
B/A	—	0.041m	0.112	0.026	0.045	0.112	0.240
C/A	—	12.2m	37.2	8.6	11.7	38.9	56.3

での距離を、扇頂から扇端までの距離で割って無次元化し、相対位置を求めた。交差位置付近では各プロファイルはわずかな比高で平行していることが多いので、交差位置といっても明確に1点で決まる性質のものではない。なお堰堤による溪床こう配の変化は取り除いた。

扇面の開析度 扇状地の新旧を示す一つの指標として、扇面形成後の谷地形の発達による等高線のゆがみから開析度を求めた。集落・主溪流のある部分はずし、主として扇中央部の、扇状地形が典型的に表われているところを選び、扇面形成後の開析によるとみられる凹地の50m谷埋めにより得た等高線の長さ、原等高線の長さの比を開析度とした。使用した1/5000地形図(等高線間隔2m)は空中写真測量によるもの

で、地表の微起伏をかなり忠実に表現しているはずであるが、地表の被覆状態などにより等高線の表現に差異が出よう。また堆積原地形のゆがみと開析によるものとの区別、計測位置の選

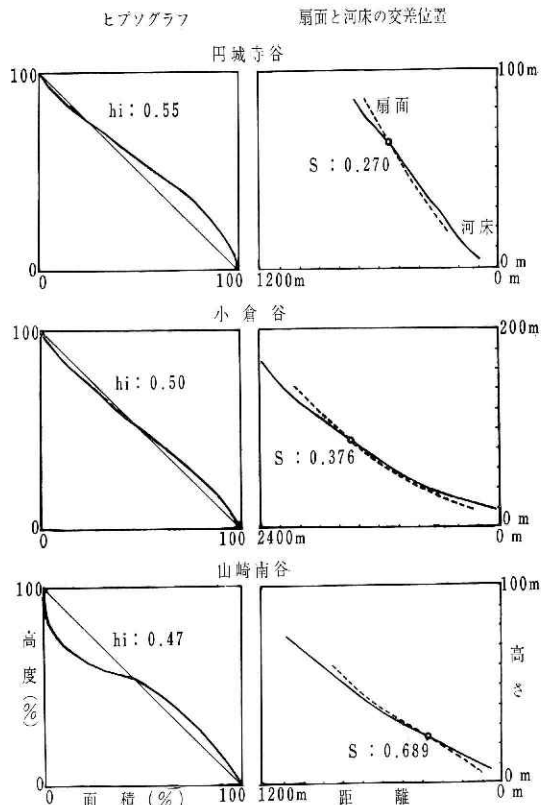


図5 養老扇状地の三つのタイプ

び方など問題点はあるが、扇状地の新旧を表わす一つの指標とはなり得よう。

ヒプソ積分 上流山地の浸食の程度を示す指標としてヒプソ積分を求めた。横軸に相対面積、縦軸に相対高度をとり、全流域面積中に占めるある高度以上の面積の割合を示す相対面積高度曲線を描き、この曲線によって区切られる下の部分の面積を、全面積で割って求めた値がヒプソ積分である。原地形を準平原として現在浸食されずに残っている山地体積の割合をおおよそ示すものである。

起伏量比 上流山地の最高点と最低点（扇頂）との標高差（起伏量）を主谷の総延長で割った値で、およそ流域平均傾斜を示す。

扇状地堆積土量 扇状地を円錐体の一部とし、堆積原面を現在の沖積面（標高5m）で平坦であるとし、末端三角面および山腹の延長から断層崖の先端を推定して体積を算出した。なお濃尾平野は西側ほど大きく沈降しているので、扇状地堆積物は現在の沖積面下にもぐっている可能性があるがこれは無視した。

山地浸食量 流域面積×起伏量×（1－ヒプソ積分）により求めた。

図6に示されるように、扇面と河床の交差位置と、扇面の開析度、上流山地のヒプソ積分と

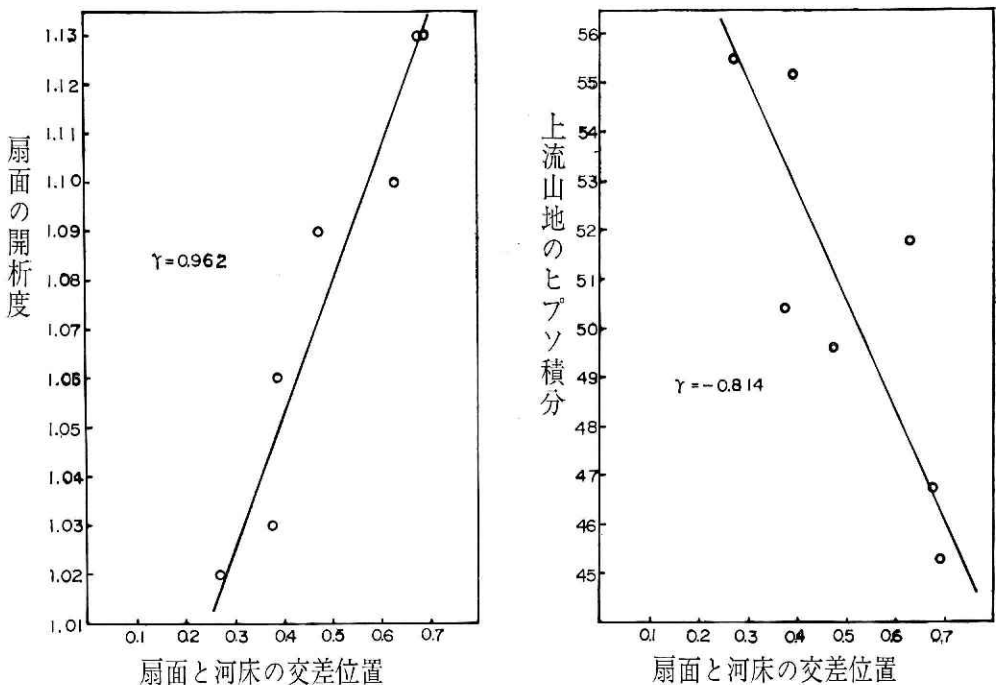


図6 養老扇状地の地形要素相関図

の間には、それぞれ有意の相関がある。交差位置と開析度との相関係数は0.962で、危険率1%で有意である。交差位置とヒプソ積分との相関係数は-0.814で5%水準で有意である。上

流山地の開析と扇状地の形成とは直接の対応関係にあるものではないし、このようにして得られた扇面の開析度なるものが、扇状地の新旧を正しく示すものとはいえないが、しかしある時間的経過を示す指標とはなりうるであろう。そこで上流山地の開析が進み、扇状地が古くなるほど扇頂での下刻が進み、土石はらんに関係する交差位置が下流へ移動するということが一般的にいえよう。

4. 土砂災害に関連しての扇状地の三つのタイプ分け

以上のような考察から、主として急傾斜小規模扇状地について、扇面こう配と河床こう配との関係に着目して、扇状地を次の三つのタイプに分類し、上流山地の地形・地質条件とも関連させて、それぞれのタイプにおける土砂災害の様相を考えたい。

- I. 溪流は扇頂から扇端まで自然堤防状の高所を流れ、溪床が全体に扇面よりも高いもので、上流からの土石供給の多い若いステージにある扇状地と考えられる。流送土石量が多いときには、扇頂から扇面全体に土石はらんが生ずる。(Thiéry の示した扇状地形成の第1期にあたる。)
- II. 溪流は扇頂部を下刻し、扇央部で溪床と扇面との交点が生ずる。一般に時期が進むにつれて下刻は進み、扇頂での比高は大きくなり、交点は下流へ移動する。土石のはんらんはこの交点付近からはじまることが多いので、扇頂部は安定な面となる。
- III. 下刻は扇端まで及び、溪床は全体に低下して扇面とは交わらず、溪流は扇面に刻まれた広い河床内を蛇行する。土石はこの河床内にはんらんし、扇面にあふれない。このような

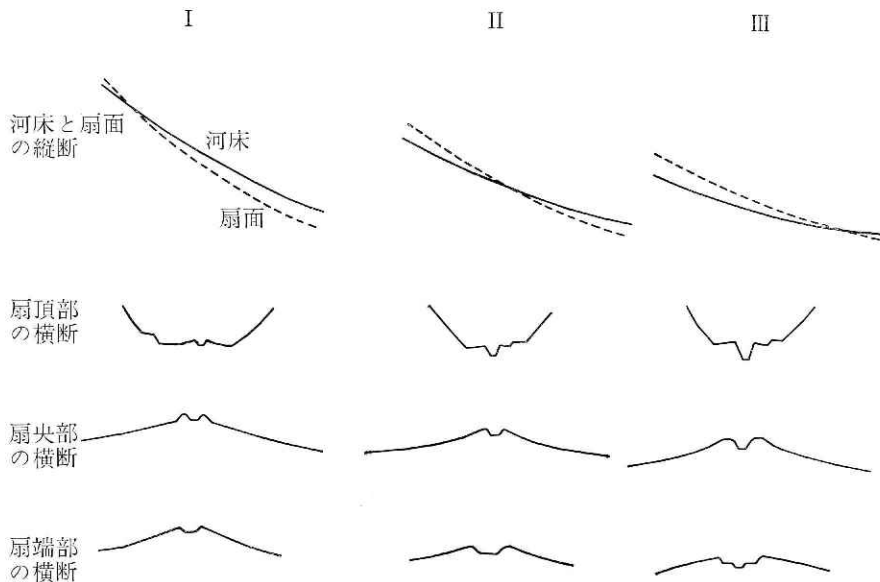


図7 扇状地の三つのタイプ模式図

扇状地は上流からの土石供給が非常に少なくなった形成終期のステージにあると考えられる。隆起扇状地もこのタイプにはいるが、上流からの供給が多い条件が存在すると、扇頂部の溪床が高くなり、扇面への土石はらんが生ずることになる。

以上の三つのタイプにつき、扇面と溪床との関係を模式的に図7に示した。

扇状地の土砂災害を考える場合、上流山地および扇状地発達の時期を反映したタイプに大きく分類して、地形発達史的オーダーの時間での災害危険度を判定し、さらに細かく扇面の微地形面分類をして、位置・形状・こう配・現河床との比高などから、危険地の指摘を行なうことができよう。

5. あとがき

山地崩壊・土石流出は地形発達史的時間で発生する現象であり、関係要因とくに土地の性質（地形、地質、土質、植生等の条件）が不均一であるため、一定の浸食営力に対する対応の仕方がきわめて多様性をもつ。したがってわれわれのとほしい経験では、容易には一般化し得ない。本報告では、地形形成史的なマクロな観点から、扇状地の地形と土砂災害との関連について考察した結果について述べたが、さらに多くの扇状地災害例について考察することによって、さらに短い時間単位での現象の解明を可能にすることが必要である。また諸要因を抽象化、単純化した実験も、自然現象を説明しつくすものではないが、現象を究明する重要な手段であるので、今後はこの面からの考察も併行して進めたい。

(1968年10月2日原稿受理)