

1. はじめに

急勾配溪流の土砂災害対策は、大別して土石流の運動エネルギーを直接的に減殺する方法と、堆積物の運搬過程すなわち堆積地形の変化を調節する方法とによっている。土石流の流れの性質や降雨との関係は詳細に検討されてきているが、堆積物の運搬過程については、対象とする流域の規模、再現期間、現象把握の精度などが様々であり、何をどう見るかと言うことが定まっていないと筆者は考える。土石流の運動特性に基づいた土砂対策はあくまで緊急非難的に重要であるが、土砂災害の根本的対策は、堆積地形が時間的空間的にどのような規則的变化をするかに基づいて検討されねばならない。本報告では、堆積地形の変化を土砂の平均堆積厚の縦断変化によって記述し、その変化を「溪流の自己調節機能」として解釈することを試みた。

自己調節機能(the constant shifting of balance)は、20世紀以降の地形学研究の中に頻繁に見られる概念であり、その機能によって平衡状態がシフトされるという考え方である。その多くは沖積平野における平衡河川(the graded river)に関する議論が中心であった。多量の堆積物で満たされる荒廃溪流では、自己調節機能はどのような形で堆積物の運搬過程に働きかけるのであろうか。そして、自己調節機能を利用すればどのような砂防計画がたてられるのであろうか。本報では、以上のことを桜島、長崎、島根、宮崎などの土石流発生溪流を対象として考察した。

2. 土石流にともなう地形変化の規模

筆者は、桜島黒神川扇状地において、約1年半にわたって、土石流の発生のたびに堆積地形の変化を計測した(5)。その結果、土石流は、1回の流れで溪流内の堆積物を一掃するものではなく、また、いったん取り込んだ堆積物を下流の河口部まで保持し続けるものでもなかった。下流部の流路工区間では、土石流は連続した流れとなって観察される。しかし、少なくとも5号ダムより上流

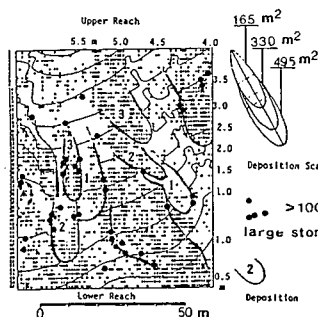


図1 桜島黒神川扇状地における
れきの密集規模と堆積区分

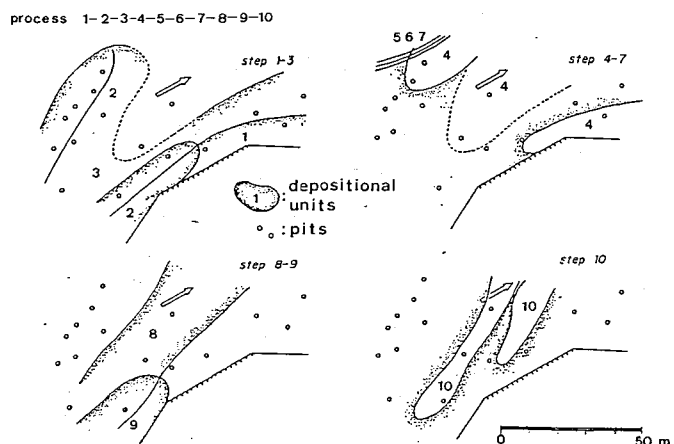


図3 細粒砂層の粒徑と堆積区分

区間では、洪水流の発生にともなって、段丘堆積物の小規模な流動化と巨石群の数十mから数百mの移動と定着の繰り返しが生じていることが確認された。

すなわち、固結した構造物の流路内を運動する土石流は一つの流れとして解析できるが、非固結な土石よりなる流路内では、土石流は洗掘作用と堆積作用とを繰り返す、それによる堆積地は小規模な地形変化の集まりとして解析しなければならない。しかし、堆積地の表面形状からだけでは、これらの小規模な地形変化の痕跡は区分できない。そこで、筆者は、土石流フロントを構成する巨石の散布状態と、集合運搬の直後に形成される細粒の掃流砂層による層序区分とから、洗掘単位と堆積単位とを区分した。図1は、桜島黒神川扇状地において、20cm以上のれきの密集面積を I_{δ} 指数を用いて計算し、それに基づいて扇状地を堆積単位に区分したものである。図2は、宮崎県椎葉村大藪川において、20cm以上の表面れきを3段階に粒径階区分し、それに基づいて溪床を堆積単位に区分したものである。図3は桜島黒神川扇状地において、図4は長崎県大崎川において、堆積地表面に掘削したピットの断面で細粒砂層を鍵層として層序区分し、それに基づいて推定した洗掘および堆積単位である。これらの堆積物の区分から、面的に連続したひとつの堆積地も 400m^2 程度のほぼ一定面積の小規模な堆積単位の集まりであり、この堆積単位が土砂の運搬単位であることがわかる。類似の小規模な堆積単位が形成されることは、IMAHURA(3)によって sub-unit ($<3\text{m} \times 5\text{m} \times 0.5\text{m}$) として、また諏訪・奥田(3)によって debris-flow lobe (10^3m^3 order) として指摘されている。

3. 平均堆積厚の縦断変化による地形変化の記述

溪流の堆積地形が、一定面積の小規模な堆積単位の集合体であるとすれば、堆積地形の特徴は、これらの堆積単位の分散の仕方に基づいているといえる。そして、同数の堆積単位があれば、それらが幅広く分散しているほど位置エネルギーが低いため、堆積地は安定していることを意味している。したがって、堆積地の安定性を論じるためには、単位溪流幅あたりの堆積単位の数が問題となる。この考え方から、筆者は、溪流全体の地形測量結果に基づいて、単位溪流幅あたりの堆積断面積 S ($S = Q/B$; Q : 横断測線上での堆積断面積、 B : 溪流幅) をもとめ、 S の縦断変化について分析した(図5)。 S は、ディメンションからみれば平均堆積厚になる。図6は、いくつかの溪流における S の

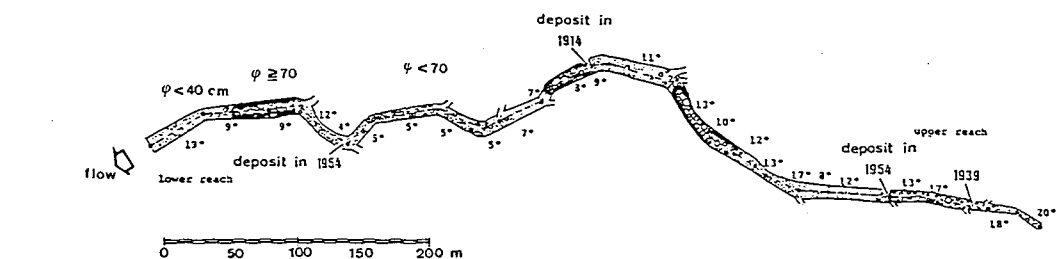


図2 宮崎県椎葉村大藪川における溪床のれき径($\phi < 40, < 70, > 70$)による堆積区分

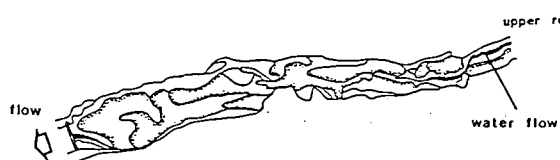
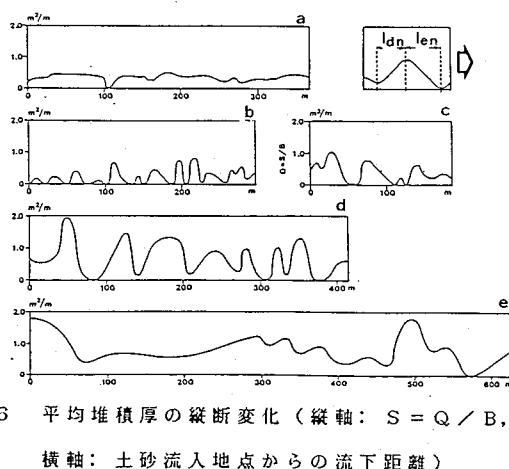
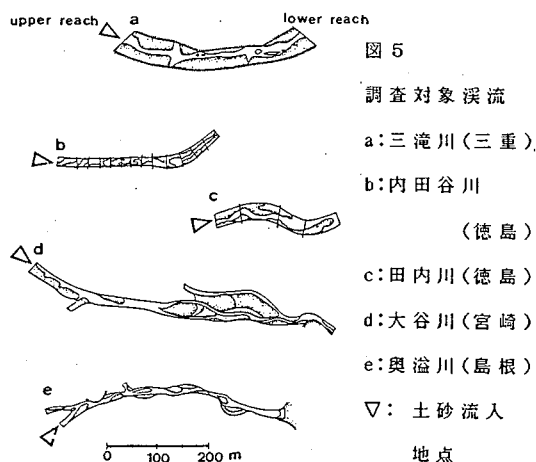


図4 長崎県野母崎大崎川における溪床の細粒砂層の粒径と堆積区分

縦断変化である。横軸は、溪岸崩壊地点または支流からの土砂流入地点を起点とする流下距離 L (m) である。波形の分析には種々の方法があるが、ここでは $dS/dL > 0$ の区間と $dS/dL < 0$ の区間とに区分し、これらの区間長 (l_{dn} , l_{en}) の距離的变化を分析した。 l_{dn} を縦軸に、 l_{en} を横軸にとって、交互に計測した値を線分として連結すると、図7のような階段形で表現される。 l_{dn} と l_{en} との比は、連続する一つの堆積地の形状をほぼ表現していると考えてよい。図7は、溪流への土砂の流入地点を起点として、下流部に行くほど堆積地の規模は小さくなり、相似形状 (l_{dn}/l_{en} が一定) に近づいてくる。図中の破線は、溪流ごとに最終的にほぼ一定値に到達したときの l_{dn}/l_{en} 比を示している。そして、起点から l_{dn}/l_{en} が一定値にシフトされるまでのおおよその距離 ($\mu = \mu_d + \mu_e$) は、溪流によって相違する。ここでは、溪流ごとの値の相違よりも、ほぼ一定の値に近づくこと自体に意味がある。 l_{dn}/l_{en} 値と μ との溪流ごとの相違は、流量とそれによる粒径淘汰の結果と推定されるが、詳しい検討はここではおこなわなかった。

4. 平均堆積厚の変化と溪流の自己調節機能

河川の平衡地形に関する研究の歴史は古く、海面高度と山頂高度とを限界条件と初期条件として、中間部で弓状に原表面を下刻しながら平衡に到達するという考え方(1)や、時間的に不均一な地殻の運動と削剝作用との均衡によって谷が下刻するという考え方(6)を経て、近年では、縦断形状が数学的にはつねに指数関数形によって記述できるという考え方(2)がなされている。一方、平衡地形に到達する作用については、自己調節機能(4)や増勾作用と減勾作用(7)や階段状河床形の形成などの議論が中心となってきた。この様に、地形学においては、削剝と地殻運動との均衡の結果として、縦断的には地形は指数関数形に近い形で後退するという考え方がとられてきている。ここでは、時間空間スケールはこれよりはるかに小さく、流入した土砂が徐々に流出して基岩面が出現するまでの間の堆積地形の変化が研究対象である。この様な対象には、地形学でいう様な単純化された地形の発達過程をそのまま適用することはできない(図8)。そこで、均衡するべき作用を堆積物に対する洗掘作用と堆積作用とにアナロジーすれば、平衡地形に相当するものは l_{dn}/l_{en} 比がコンスタントの時の堆積物の分布形状と考えることができる。そして、縦断的にみても、洗掘作用と堆積作用とは位置的に強さ



の差があるので(図8)、堆積単位の数(堆積頻度)は場所によって相違する。また、溪流では、地形変化の初期条件は溪岸崩壊による土砂や支流からの流入土砂によって与えられる。したがって、平均的な堆積面は連続的に下方へ移行するのではなく、流入土砂による初期条件の更新のため、不連続に下方へと移行することになる(図8)。そして、土砂流入地点から l_{dn}/l_{en} 比が一定値にシフトされるまでの距離が短いほど、溪流の自己調節機能は強いといえる。すなわち、自己調節機能の弱い溪流ほど土砂流入(崩壊)源から長い距離にわたって溪床変動が波及することになる。

自己調節機能の強弱が溪流のどのような要素によって決定されるか、またその強さが常に一定であるのかが今後の問題となる。前述した様に、筆者はその原因を流路を構成する基岩の形状と堆積物の粒径構成とによるもの推定しているが、今後機会があれば、いくつかの荒廃溪流や長大な荒廃河川において検証をおこないたい。地形の発達に関して、九州大学 竹下敬司博士にアドバイスをいただいた。謝意を表します。

引用文献

- 1) DAVIS W.M.(1912): 地形の説明的記載(水山高幸・守田優共訳;1969). 大明堂: 32-37
- 2) 平野昌繁(1972): 平衡形の理論. 地理学評論 45-10: 703-715
- 3) IMAMURA R.(1978): 武居有恒監修(1980) 地すべり・崩壊・土石流. 鹿島出版会: 45-48
- 4) MACKIN J.H.(1948): Concept of the Graded River. Bull. of Geological Society of America 59: 463-512
- 5) 丸谷知己(1984): 火山性荒廃溪床における洗掘・堆積場の形成と変化に関する研究. 新砂防 36-4: 23-28
- 6) PENK W.(1924): 地形分析(町田貞訳;1981). 古今書院: 14-18
- 7) SCHUMM S.A.(1985): Explanation and Extrapolation in Geomorphology: Seven Reasons for Geologic Uncertainty. Transactions, Jpn. Geomorphological Union 6-1: 1-18
- 8) 諏訪 浩・奥田節夫(1982): 焼岳上々堀沢扇状地における土石流の堆積構造. 京大防災研年報 25-B-1: 307-321

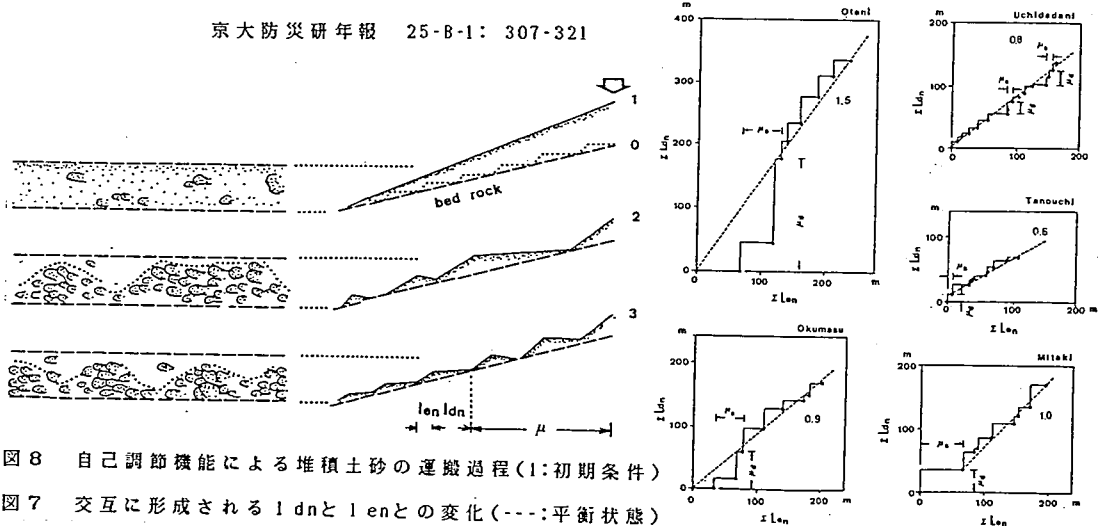


図8 自己調節機能による堆積土砂の運搬過程(1:初期条件)

図7 交互に形成される l_{dn} と l_{en} との変化(---:平衡状態)