

## 23 斜面変動と河道変動の流域的つながり —オレゴン州カスケイド山脈の事例—

○中村太士（北大農），Frederick J. Swanson（Forest Service PNW）

### 1. はじめに

斜面変動と河床変動のつながりを知ることは、砂防がこれまで対象としてきた土砂流送問題を流域レベルで統合する意味から重要である。さらに、林地開発にともなう土砂流出と河川生物相への影響など、近年話題となっている環境問題を取り扱う上でも重要なテーマである。これら環境問題の多くは流域さらに景域（landscape）を舞台に発生しており、斜面変動から河道変動を通じてつくられる斜面・河道地形に左右されながら植物・動物相は成立する（中村, 1990）。米国では1969年のNational Environmental Protection Act の通過以降、連邦資源管理者は土地利用に伴う環境への累積的影響（cumulative effects）さらに長期的影響（long-term effects）を把握することが義務づけられている。以上の観点から、本論では土砂収支的に斜面変動と河道変動の流域的つながりを追うのではなく、植物・動物相に影響を与える「地表攪乱の波及（propagation of disturbance）」（中村, 印刷中）という視点からこの問題を検討した。

### 2. 調査対象流域の概要

調査対象流域は米国オレゴン州カスケイド山脈に位置し、流域面積 64 km<sup>2</sup>、標高 412~1630 m の山地溪流である（図-1）。標高の低い区域では Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*), western hemlock (*Tsuga heterophylla*), western red cedar (*Thuja plicata*) が顕著に認められ、高い標高に移行するにしたがい、Pacific silver fir (*Abies amabilis*) が優占する。年降水量は 2500 mm を越えるのが普通で、冬期に集中し（標高 1000 m を越える地域では積雪に覆われる）、夏期にはほとんど雨は降らない。この流域の地質は、標高 900~1000 m を境として2つの区域に分けることができ、低標高区域は火砕流堆積物、降下火山灰、凝灰岩、湖成堆積物など不安定な堆積物で覆われているのに対し、高標高域は変質作用を受けていない安山岩・玄武岩系溶岩流によって覆われている。斜面崩壊、土石流等の地表変動に関しては、1950年よりデータが蓄積されている。

### 3. 斜面変動と河道変動のつながり

本調査で対象とした地表変動は、大規模地すべり地形、地すべり、斜面崩壊、土石流、流木を伴う洪水、流路変動である（図-1）。流域におけるこれら地表変動現象とその波及様式を、滞留空間（storage）も含めて図-2 に示した。以下、斜面変動と河道変動のつながりを本流斜面から本流内、支流斜面から支流内、支流から本流内、本流上流から本流下流の4つに区分し議論を進める。

### 3.1 本流斜面から本流内への波及

本流斜面から本流内への波及形態としてもっとも顕著な形態は、大規模地すべり地形（休止）、地すべり（活動）による本流河道閉塞があげられる。調査流域には3つの大規模地すべり地形、さらに多数の地すべりが確認されており、本流河道の河川地形に大きな影響を及ぼしている。河道閉塞の程度は、地すべりによって供給される土砂、倒木・流木（CWD（Coarse Woody Debris））の量と、これを運搬する本流河道の輸送力の関係によって決定される。調査流域の地すべりは大径の礫さらにCWDを生産するため、その抵抗性はきわめて高い。そのため、地すべりによって閉塞された河道上流部には勾配の緩やかな拡幅部が発達する。調査流域に分布する針葉樹とくに Douglas-fir は成熟林で50~70 mに達する。これに対して、河幅は5 m（1次水流）~25 m（5次水流）程度であり、樹木個体が河道に供給された場合、河川地形に与える影響は甚大である。破損し河道に流入したCWDの多くは停滞し、流路を分岐させ山腹脚部の侵食を促進する。このため、地すべりによる閉塞区間では河道兩岸に溪岸崩壊が多発しており、これにより土砂・CWD生産は加速化される。こうして生産された大径のCWDは、小径CWDを捕捉しCWDによる天然ダムを形成するのが普通である。天然ダムは流送土砂を捕捉し、複雑なステップ・プール構造を形成する（プールの間隔は河幅の3~4倍程度）。こうした天然ダムは百年以上存在する場合も少なくないが、最終的には腐朽・破損により崩壊し、CWDを伴う洪水として下流に波及する。

### 3.2 支流斜面から支流内への波及

火砕流・降下火山灰など不安定な堆積物で覆われており、30°以上の急斜面が広く分布する低標高地域では、表層斜面崩壊が多発し、これらの多くは土石流に発達している。斜面崩壊から発達した土石流は、全体の79%を占める。特に、源頭部凹地（0次谷）で発生した斜面崩壊が土石流に発達する可能性は高く、全体の47%が土石流化している。支流溪岸崩壊が土石流に発達する可能性はきわめて低く、一事例認められたにすぎない。一般的には、崩壊方向と溪流方向がなす角度が小さく、崩壊土砂量の大きい斜面崩壊が土石流に発達する可能性が高い。その妥当性を判別分析により検討した結果、良好な結果が得られた。

斜面崩壊から土石流への発達の影響は、支流域 WS1, 2, 3（土砂・流量等の継続調査実施）のCWD分布、流出土砂量、溪流地形に反映されている。1964年豪雨時に、WS3では崩壊が発生し（林道の影響）土石流に発達したのに対して、WS1では崩壊は発生したが（皆伐の影響）土石流には発達しなかった。また、WS2は人為的影響が加えられていない対照区で、1964年にも崩壊・土石流等の地表変動が全く発生しなかった。WS1ではCWDによる溪床幅拡大が顕著に認められ（平均溪床幅：10.9 m）、崩壊土砂はその背後に堆積し、河畔林を構成する red alder は大径のものも多く分布し、サイズの散らばりが大きい。これに対してWS3の溪床幅は狭く（平均溪床幅：7.6 m）、土石流通過後かろうじて残された土砂堆積面に木本が侵入し、顕著な箇所ではほぼ流下方向に red alder と western red cedar の列状一斉同齡林を認めることができる。WS2では、溪床は深くV字谷を呈し（平均溪床幅：5.0 m）、岩盤が露出している箇所も多く、溪床堆積土砂はほとんど存在しない。河畔林の上層を形成する木本樹種も山腹斜面の樹種と同様で、Douglas-fir と western hemlock 等の

針葉樹が顕著に認められ、広葉樹は少ない。

### 3.3 支流から本流内への波及

支流と本流の合流部に発達する扇状地・河岸段丘・氾濫原さらに道路網は、土石流の停止域を形成し、本流への攪乱に発達するかどうかを決定する上で重要である。本流 Lookout Creek 下流における左岸と右岸の比較は、この影響を知る上で興味深い。本流左岸に分布する支流域は、右岸に分布する支流域にくらべて流域面積、標高差が大きい(表-1)。そのため、扇状地・段丘・氾濫原も本流左岸側に広く分布しており、ちょうど本流を右岸側へ押しやっているような形態をとっている。結局、左岸支流域で発生した9つの土石流のうち8つは、合流部に発達するこれらの滞留空間で停止しているのに対して、右岸支流域で発生した6つの土石流のうち5つは本流に流入し、攪乱の影響が本流河道へ波及しているのが特徴である。

### 3.4 本流上流から本流下流への波及

本流上流の攪乱形態は、地すべり・倒木・溪岸斜面崩壊に伴って形成されたCWDダムの崩壊が主である。多くは洪水時に崩壊し、多量の流木を含む洪水サージとして下流に波及する。こうした洪水攪乱に含まれる土砂・流木を一時的に保留し、攪乱波及を停止させる空間は溪流内に形成された拡幅部(unconstrained reaches)である。調査流域内では、McRae Creek との合流部に形成されており、1964年の洪水攪乱もほぼこの区間で終息している。こうして流入した流木の多くは、その後の流路変動を助長し、2次流路を発達させる。結果的に拡幅部においては、モザイク状の多様な(樹種、樹齡、構造)河畔林構造が発達する。

以上の攪乱波及様式を、時間スケールを縦軸、本流を横軸にしてまとめると図-3のようになる。一般的に攪乱の波及形式は、図中白矢印が上から下に向かうように、時間スケールの長い現象から短い現象に波及し、時間スケールの短い攪乱は長い攪乱に発生・停止箇所を規制されながら分布するのが普通である。しかし、図中黒矢印に認められるように、短時間スケール現象が滞留空間で集積し、長時間スケール現象として波及する場合も認められ、拡散と集合を繰り返しながら波及すると言える。

## 4. おわりに

これまで砂防が議論してきた地表変動のすべては、流域に分布する植物・動物相の基盤条件を形成しており、その流域網を通じてのつながりは、流域生態系を考える上でのカギとなる。近年、流域を舞台に発生している環境問題を個別地域に分けて議論しても解決にはつながらない。流域一貫という視点から森林生態系を見直す必要性がここにある。

引用文献：中村太士(1990)地表変動と森林の成立についての一考察。生物科学 42, 岩波書店, 57-67, 中村太士(印刷中)流域レベルにおける森林攪乱の波及。生物科学

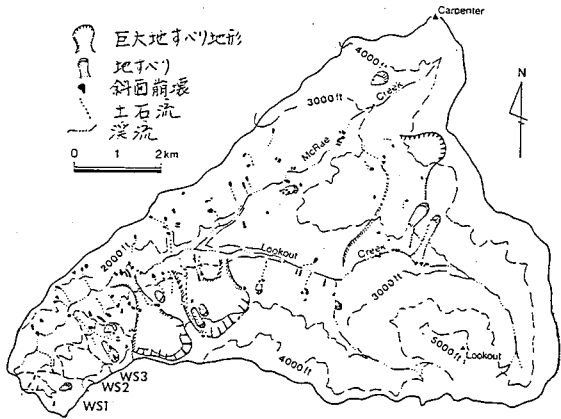


図-1 地表変動の分布

表-1 支流域における攪乱波及の比較

	支流域	
	左岸側	右岸側
平均流域面積 (ha)	86	38
稜線標高 (m)	880~1340	680~950
大規模地すべりの数	2	0
土石流の数	9	6
土石流平均流下距離 (m)	811	500
扇状地面積 (ha)	26.5	13.0
河岸段丘面 (ha)	2.9	5.8
氾濫原面積 (ha)	16.6	8.9
本流へ流入した土石流の数	1	5

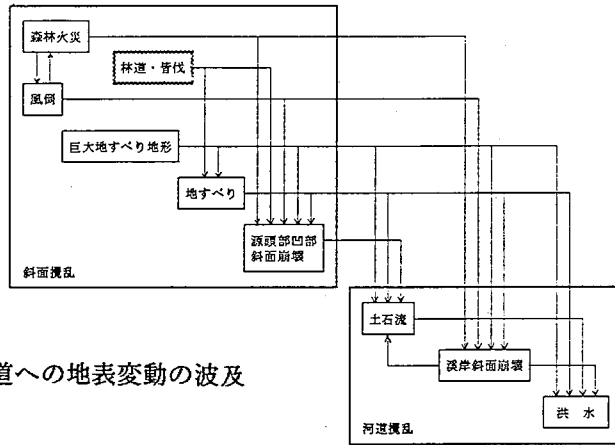


図-2 斜面から河道への地表変動の波及

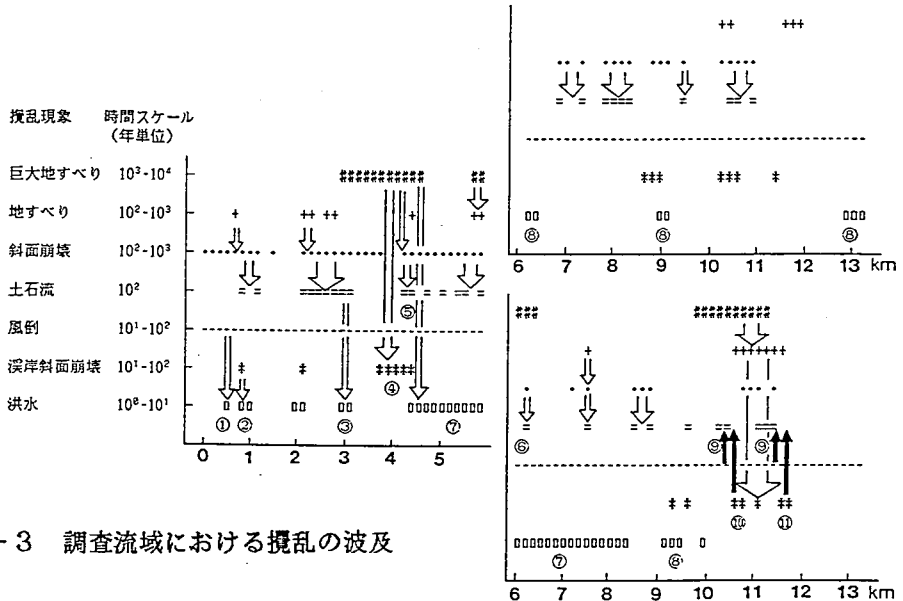


図-3 調査流域における攪乱の波及