

はじめに

野外において土砂の生産・流送を調査観測した事例は、日本においても数多く認められる。しかし、災害後の実態調査など、短期的視点に立ったものがほとんどで、数十年以上にわたって野外調査を継続した事例はほとんどない。こうした長期観測システムに関して、日本における立ち遅れが目だつのにに対し、米国においては早くから実績が積み上げられ、興味ある観測結果が数多く報告されている。その結果土砂滞留の重要性が強調されており、最初は土砂輸送率 (sediment delivery ratio) によって土砂生産量と輸送量の不均衡が議論されている (Roehl, 1962)。

長期モニタリング調査結果がない現在、空中写真、樹木年代、ダム堆砂資料、現地踏査を用いて、土砂生産・滞留・流送を議論するのが一つの方法であると考え。本研究の目的は、土砂生産としての斜面崩壊と流送・滞留としての河川地形変化をつなげて議論することであり、沙流川流域において時系列解析を実施したのでここに報告する。

1. 調査地および調査方法の概要

調査対象流域は、北海道日高地方に位置する沙流川流域 (流域面積: 1345 km^2) である。崩壊による土砂生産を把握するために設定した小流域は新第三紀砂岩・泥岩流域に分類され、流域面積は 1.85 km^2 で、沙流川本流に直接流入する (図-1)。崩壊地の推移については、空中写真によって裸地と判別できる区域のみであり、この水平投影面積を崩壊面積とした。使用した空中写真の年代は、1956年、1963年、1976年、1981年、1986年の5組である。

ダム堆砂資料は、岩知志ダム (流域面積 567 km^2) で1961年から測定されている堆砂データを使用した。河床堆積地の年代調査は、1984年から1986年まで実施され、額平川との合流点から上流 28.9 km 区間について、堆積地のサイズ・分布・年代が、空中写真および現地縦横断測量・現地踏査により測定された。

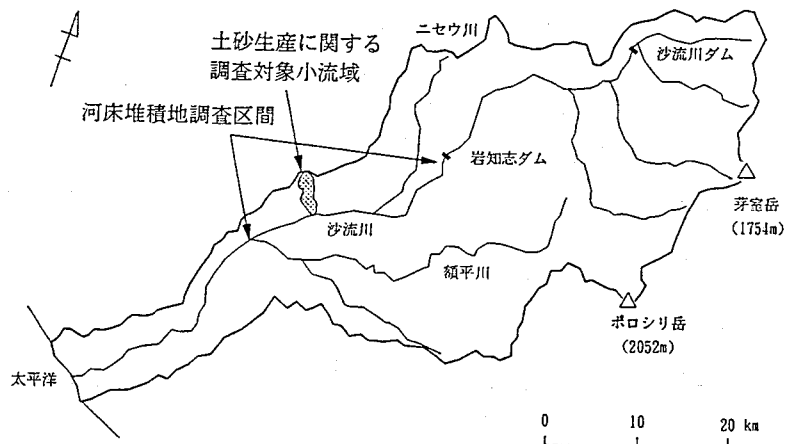


図-1 調査対象流域

2. 空中写真判読および現地踏査による土砂生産過程の把握

空中写真判読による崩壊面積の推移を表-1に示した。本流域でもっとも崩壊地面積が拡大したのは1956～1963年の間であり、新規発生崩壊地面積で47,000 m²に達し、年間あたりに換算した崩壊面積も、他の期間が2,000～3,000 m²/年であるのに対して、6,700 m²/年程度ときわめて高い。1962年に日高で連続雨量248 mmの豪雨があり、この豪雨にともなって発生した崩壊であると推測される。この豪雨による河床変動痕跡は、河床堆積地上に成立する天然生同齢林として沙流川本流に数多く残されている。

単位面積、単位時間あたりの崩壊土砂量 (Sp) はつぎの式によって計算できる。

$$S_p = S_a \cdot h / (\cos \theta \cdot W_a \cdot T) \quad (1)$$

ここで、Sa: 新規発生崩壊地面積、h: 平均崩壊深、θ: 平均傾斜、Wa: 流域面積、T: 時間である。表-1に示したように、調査対象流域における過去30年間の年間平均崩壊面積は、3,459 m²である。この面積は水平投影面積であり、実際の崩壊地面積は斜面傾斜を考慮しなければならない。現地調査から得られた崩壊地の平均傾斜 (θ) は40°であり、崩壊深 (h) はおよそ50 cmであった。

(1)式によって得られたSpは、1220 m³/km²/年であった。しかし、崩落土砂の一部は崖錐斜面に残留しており、実際河道内に流入した土砂は、崩壊土砂量のうち残土量を差し引いたものである。いま、斜面崩壊によって生産された土砂が、崩壊地外へ流出する量を生産流出土砂量 (Sd) と定義すると、

$$S_d = (1 - R) S_p \quad (2)$$

となる。現地調査より得られた残土率 (R) は、0.42であり、求められたSdは、708 m³/km²/年であった。

表-1 砂岩・泥岩流域における崩壊面積の経年変化

地 質	流 域 面 積 (km ²)	年 代	崩壊地面積 (m ²)	新規発生崩壊 地面積 (m ²)	植生回復崩壊 地面積 (m ²)	残存崩壊地 面積 (m ²)	年間崩壊面積 (m ²)
砂岩・泥岩 流域	1.85(0.93)	1956	39,230				
		1963	61,090	47,210(36,530)	25,340	13,890	6,740(5,220)
		1976	47,150	25,210(19,150)	39,150	21,940	1,940(1,470)
		1981	31,230	16,500(11,020)	32,420	14,730	3,300(2,200)
		1986	27,160	14,860(9,070)	18,930	12,300	2,970(1,810)
		変 化 量 計		103,780(75,770)	115,840	平均	3,460(2,530)

() 内の数字は、30°以上の斜面に関する面積

3. ダム堆砂資料解析による土砂流送過程の把握

ダム堆砂の経年変化から得られる流砂量には、上流域から本流河道に流送される掃流砂と粗粒の浮遊砂成分は含まれているが、細粒の浮遊砂成分は含まれていない。そこで全流砂量に変換するため、下記に示される Brune(1953)による変換式 (trap efficiency curve) を用いた。

$$C_t = 100 [1 - 1 / (1 + 0.1 C / W)] \quad (3)$$

ここで、 C_t はダム捕捉率(%)、 C/W はダム容量と流域面積(acre feet per square mile)の比である。これによると、岩知志ダムでは全体の34%が細粒浮遊砂として流出していることになる。結局、約20年のダム堆砂資料からダム捕捉率を考慮して計算された年間平均比流砂量は、 $500 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ であった。さらに、土砂生産量把握のため小流域において実施した調査結果が流域全体の土砂生産を代表しているとすれば、斜面崩壊によって生産された土砂の約42%は山腹脚部に残存し、41%は河道によって運搬され、残りの17%は支流および本流の氾濫原に滞留していることになる。

4. 河床堆積地調査による河道内土砂滞留過程の把握

Nakamura(1986)は、河床堆積地の年代分布から平均滞留時間(average residence time)を算出しているが、これらは年代が古くなるにつれて堆積量が減少する全体傾向を、半減期の考え方と同様、指数関数によって近似したものである。これにより土砂流送・堆積に関する河川の流域特性を把握することができるが、年代分布に記録される個々の年代の凹凸を考慮しておらず、解析として不十分であると言える。そこで本研究では、この点に関し改良を加えた。

いま、年代分布の連続式を次式のように定める。

$$\partial n(x, t) / \partial t = -\partial n(x, t) / \partial x - a \cdot n(x, t) \quad (4)$$

ここで、 $n(x, t)$ は時間 t の時点で x 年の堆積地が占める面積、 a は侵食率(ここでは定数：年代によって変化しないと仮定している)である。この連続式から理解できるように、堆積地は時間とともに減少するが、形成時の分布サイズを維持しながら面積に比例して残存することになる。堆積地形成時のサイズは、 $n(0, t-x)$ で表現でき、その値は次式によって求められる。

$$n(0, t-x) = n(x, t) / \exp(-a \cdot x) \quad (5)$$

実際に定数 a は、全体的減少傾向を指数関数で近似し、その傾きによって求めることにした。さらに面積から土砂量に換算するため、 $n(0, t-x)$ に各年代に応じた平均堆積厚を乗じ初期堆積量を算出した。

5. 土砂生産・流送・滞留に関する時系列解析

土砂生産についての経年変化は、

(1)式と(2)式を用いて生産流出土砂量(S_d)を算出した。5組の空中写真判読によって計算したため、算出の時間間隔は空中写真の年次間隔に対応し、それぞれの期間平均値で示すことにした。また、(3)式によってダム堆砂資料と捕捉率から算出された流砂量の経年変化を求めた。さらに、河床堆積地の初期形成段階におけ

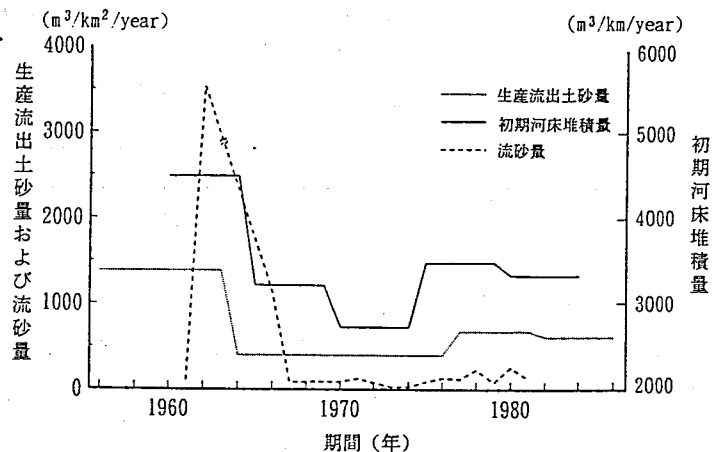


図-2 土砂生産・流送・滞留に関する時系列的解析

る堆積量を(5)式より算出し、その経年変化を求めた。これらはそれぞれ流域における生産・流送・滞留の指標であり、図-2に比較した。3つの値の経年変化は概して同様な傾向を示しており、1962年の豪雨災害前後に流出生産土砂量、流砂量、初期堆積量ともに高くなっている。さらに1970年前後に比較的低い値で推移し、1978年前後に小さな上昇が認められるのが特徴である。このように変動傾向は類似しているものの、先

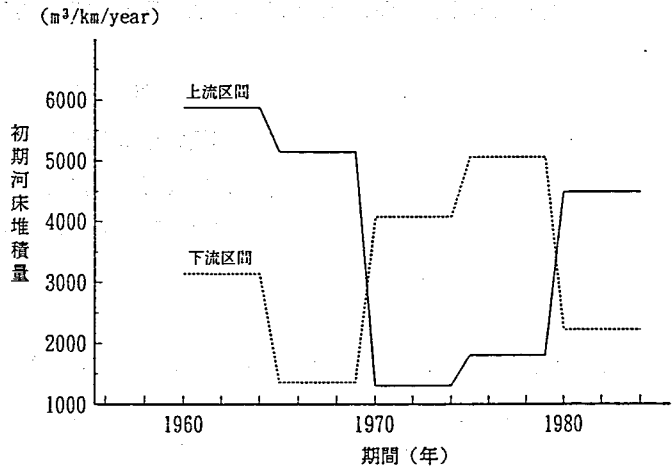


図-3 初期河床堆積量に関する上流・下流区間の比較

の米国におけるモニタリング結果（たとえば土砂輸送率に関する議論）、さらに4.で述べた土砂収支からもわかるように、ある時点で流送されてくる土砂は、斜面生産土砂の直接流出分のみならず上流域斜面脚部・氾濫原に滞留していた土砂の再洗掘分も多く含まれていると考えられる。こうした流送と滞留の繰り返しがフィールドで観察される河床変動であり、この点について検討が必要である。実際、河床堆積地調査の結果をみても、上流域と下流域は異なる年代分布を呈しており、河床変動も同様ではなかったことが推測できる。

そこで、沙流川河床堆積地の調査区間を二分し（調査開始点からニセウ川との合流点までの15.4 km 区間と、この合流点から岩知志ダムまでの13.5 km 区間）、初期堆積量の経年変化を比較することにした（図-3）。これによると上流区間は、全体傾向をさらに強調したかたちで変動しているのに対して、下流区間では1970年から1980年にかけて上昇が認められ、上流区間とはやや逆の傾向を示している。実際、下流区間においては1962年の豪雨時に形成されたと推定される堆積地が少なく、むしろその後形成された堆積地痕跡が多く残されている。この理由に関しては議論のあるところではあるが、現時点で筆者らは、上流域における1962年変動土砂が時期をずらして（1970年以降）下流域に波及したものと考えている。今後は、洪水前後の堆積地の変形を調査し、上記仮説の妥当性を検討するつもりである。

参考文献

- Brune, G.M. (1953): Trap efficiency of reservoirs. Trans. Am. Geophys. Union. Vol 34, No. 3, 407-418.
- Nakamura, F. (1986): Analysis of storage and transport processes based on age distribution of sediment. Trans. Jpn. Geomorph. Union, Vol. 7, No. 3, 165-184.
- Roehl, J.W. (1962): Sediment source areas, delivery ratios and influencing morphological factors. Inter. Assoc. Scientific Hydrology Publ. 59, 202-213.