

山地小河川における流出土砂に関する研究

片山 一茂・佐々木もも帆（信大院農）・小野裕（信大農）

山地斜面において斜面侵食に関する研究は数多く行われてきたが、山地小河川において流出土砂量の増減を降雨・降雪・流量等と比較する研究はあまり行われていない。そこで、本研究では河川によって運搬される土砂流出のメカニズムを解明することを目的として信州大学手良沢山演習林内の野田ヶ沢源頭部において河川内を流下する土砂を計測した。計測は、河川内にトタン板を加工した土砂受箱を2つ埋設し、そこに堆積した土砂の堆積深を測定する形式で行った。その結果、流出土砂と総降雨量・1時間最大降雨強度・流量の各要因を比較すると流出土砂と各要因間でそれぞれ相関はみられ、さらにニホンジカによる影響も観測された。

キーワード：山地小河川，流出土砂，降雨，流量

I はじめに

山地小河川からの流出土砂量を把握することは、山地斜面からの土砂運搬のメカニズムを解明する上でとても重要なことである。そして、このメカニズムを解明することは、長年問題視されているダムの堆砂問題を解決する一助となるだけでなく、河床の変動、さらには河口部から海岸にかけての総合的な河川管理を行うための指標にもなる。村上ら(2010)は、河川からの流出土砂量には季節変化があり、初冬から春までの融雪期間には流出土砂量が少ないのに対し、夏期においては台風などのまとまった降雨による出水の影響で流出土砂が過大に生産されることを示した。また、木本ら(1999)や丸谷ら(2000)は、河川からの流出土砂の特徴として以下の2項目を挙げている。1つ目は輸送可能な土砂が十分に堆積していないと実際に斜面から河川に流出する土砂量は運搬可能な土砂量と比較して少ないということである。2つ目は、降雨量・流量・流出土砂量の3つの項目の間に関係性があり、降雨量と流量の間には5mm/day以下を除いた場合において高い相関があること、降雨量5mm/day以下を除いた期間降雨量の増加に伴い期間流出土砂量も増加するということである。さらに、宇多(2008, 2012)は、河川から海岸までの土砂移動に着目し、海岸の侵食・後退の軽減に河川からの流出土砂量が強く影響していることを示唆した。以上のように、河川における土砂の流出については数多く研究が行われているが、実際に河川源頭部において流出土砂量を詳細に調べた例は少ない。

そこで本研究では、山地から海岸に至るまでの総合的な土砂管理を行うことを前提として、山地小河川源頭部において流出土砂の生産から運搬までのメカニズムを解明す

ることを目的として実験を行なった。

II 調査地・調査方法

本調査は、長野県伊那市に位置する信州大学農学部手良沢山ステーション演習林の4林班を流れる野田ヶ沢にて行った。年平均降水量は約1500mmであり、年平均気温は8.8℃である。調査地の標高は約1150m、風化花崗岩マサを基岩とする褐色森林土である。沢は傾斜が30～40°の斜面で囲まれており、その斜面には33年生と91年生のヒノキが植栽されている。なお、ニホンジカが沢内・沢沿い・山地斜面を移動している。

この野田ヶ沢の流路上流端から下流に82.3m、標高差6.5mの所に土砂受箱を設置した。なお、土砂受箱設置地点までの流域面積は0.39km²である。土砂受箱は、トタン製の土砂受箱1(0.4m×0.26m×0.27m)と土砂受箱2(0.33m×0.22m×0.27m)の2つを用意し、土砂受箱1が満砂すると土砂受箱2に土砂がたまるように順に設置した(図-1)。

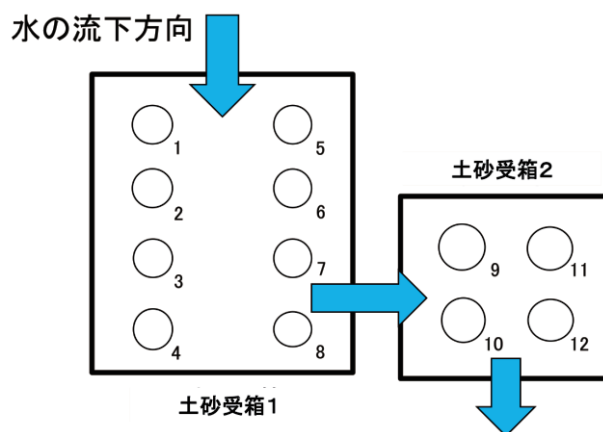


図-1. 土砂受箱の配置と水の流れ

期間内 0.5mm 以上の降雨イベント毎に、土砂受箱の堆積深を土砂受箱 1 で図-1 に示した 8 箇所、土砂受箱 2 で 4 箇所測定し、測定後に土壌サンプラーで土砂受箱の堆積土砂からサンプルを持ち帰り、絶乾させて密度を求めて重量に換算した。なお、土砂受箱 1 と 2 が満砂し、河川内に土砂があふれた場合は、土砂受箱周囲のプールから土砂が流出していない場合に限り、8L のバケツでプール内の掻き出しを行って土砂量の参考値を求めた。また、調査時に土砂受箱の直上においてメスシリンダーを用いて流量計測を行い、降水量は計測地から約 1.2km 離れた標高 990m の管理棟裏にて計測を行った。

Ⅲ 結果

調査は 2015 年 12 月 18 日から 2016 年 7 月 12 日の 8 ヶ月行なった。期間中、土砂回収を 36 回行い、そのうち降雪を観測したのは 2 回、積雪があった期間の土砂回収は 4 回である。また、土砂受箱以上に流出土砂があり参考値として求めたものが 13 回あった。この期間の降雪を含む総降水量は 651mm、1 時間最大降雨強度は 8.5mm/h、計測時の平均流量は 0.38 L/s、平均時間毎流出土砂量は 1.04kg/h、平均流出土砂密度は 1.3g/cm³ である。

1. 各要因間における比較

①期間内降水量 R と総土砂量 A

期間内降水量 R (mm) と総土砂量 A (kg) を比較したグラフを図-2 に、そのグラフから降雪の影響を受けた期間を除いて比較したものを図-3 に示す。

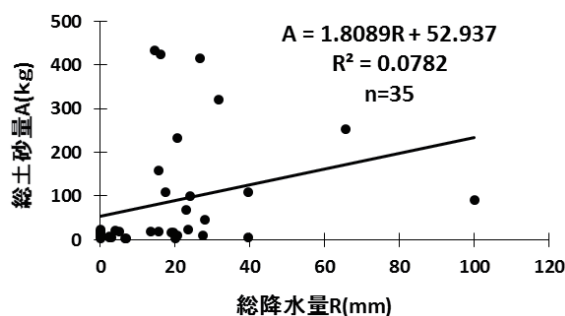


図-2. 総降水量 R (降雪有) と総土砂量 A

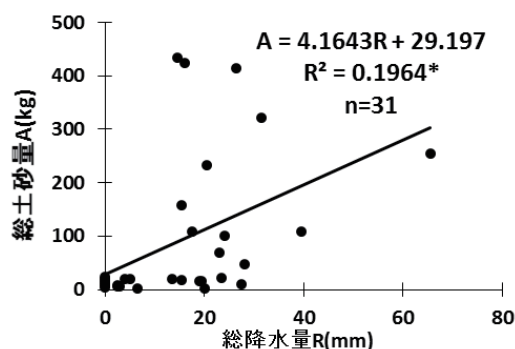


図-3. 総降水量 R (降雪無) と総土砂量 A

図-2 と図-3 を比較すると、降雪の影響を抜いた図-3 の方は危険率 5% で有意であることから、降雪と A の関係は降水と A の関係とは別に表す必要があるとわかる。また、図-3 を見ると R が 15mm を超えると A の値にばらつきが見られた。ここで、以下の図-4 に先に述べた降雪と A の関係を比較するためのグラフを示す。

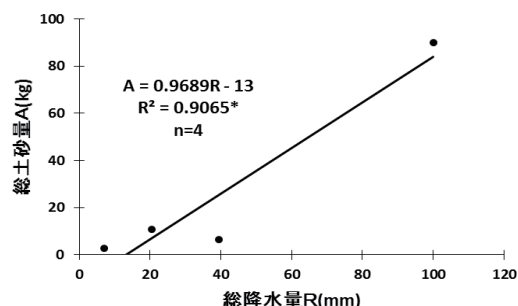


図-4. 総降水量 R (降雪の影響期間) と総土砂量 A

図-4 より R と A の関係は危険率 5% で有意であり、降雪の影響がある期間においては、R と A の関係は降雨時とは別の関係性を持つと示された。

②1 時間最大降雨強度 r と総土砂量 A

図-5 に 1 時間最大降雨強度 r (mm/h) と総土砂量 A を対比させた関係式を示す。

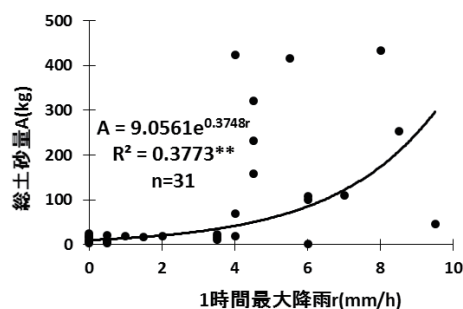


図-5. 1 時間最大降雨強度 r と総土砂量 A

両者の間には、R で比較を行った時とは違い、降雪の影響による値の変化は見られなかった。ここでは、指数式での相関が最も高く、さらに r が 4mm/h を超えると A が多量に流出することが示された。

③流量 q と総土砂量 A

図-6 に流量 q (ml/s) と総土砂量 A の関係式を示す。

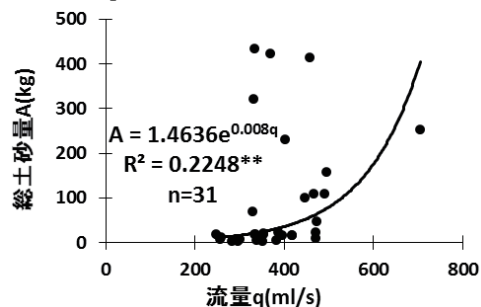


図-6. 流量 q と総土砂量 A

両者の関係は危険率 1%で有意となったが、 q が 300ml/s を超えたところからばらつき見られ、このような結果になった要因としては河道内不安定土砂量が影響していると考えられる。また、 q と A の関係においても降雪による影響は見られなかった。

2. 重回帰分析①

A の生産に $R \cdot r \cdot q$ がそれぞれどのくらい影響を与えているのか把握するために重回帰分析を行い、以下の式を得た。

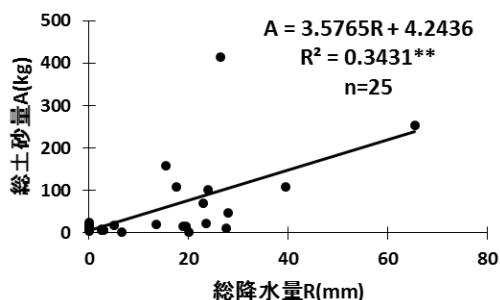
$$A = 0.591R + 26.86r - 0.156q + 58.72 \quad (1)$$

(A :総土砂量(kg), R :期間内総降雨量(mm), r :1 時間最大降雨強度(mm/h), q :流量(ml/s))

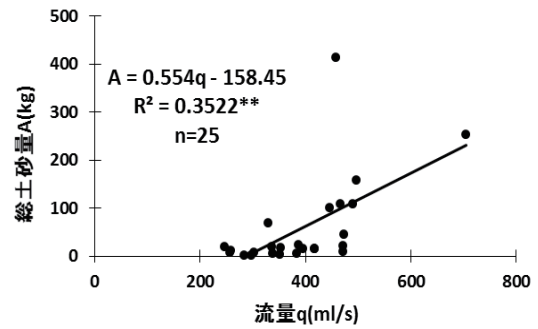
式(1)は危険率 5%で有意であり、説明変数は r のみ危険率 5%で有意であった。これにより、一般的に河川からの流出土砂生産要因であるとされる降雨量・降雨強度・流量の中でも降雨強度が強く影響を与えている可能性が考えられた。

しかし、先に示したように図—1～6 で値にばらつきが見られた。そこで、ここでは A と R , A と q を比較した際のデータのばらつきについて考える。降雨量 15mm 程度、流量 300ml/s あたりの異常値は、2016 年 6 月 14 日から 6 月 28 日の期間に計測したものであり、この期間には 5 回の土砂回収を行っている。そして、この期間には野田ヶ沢周辺をニホンジカが頻繁に通っていたことが沢沿いに設置してある赤外線カメラによって確認された。野田ヶ沢周辺では、例年 6～7 月頃にシカが頻繁に出現すること、シカの踏み荒らしによって沢の両側斜面の土砂が侵食されることが同調査地で行われている佐々木(2016)のシカによる斜面侵食を研究している結果で得られている。さらに、この期間中には河川内にもシカの足跡等を多数確認したことから、シカの踏み荒らしによって流出土砂が多く生産されたと考えられる。

このシカによる影響が含まれたとされる 6 回分のデータ(6/17, 6/24, 6/27, 6/28, 7/1, 7/12)を除いて、再度比較を行った結果を以下の図—7, 図—8 に示す。



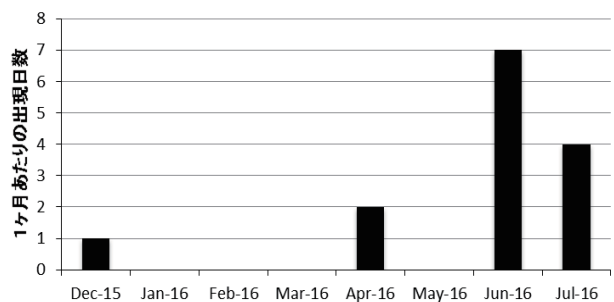
図—7. シカの影響を除いた総降雨量 R と総土砂量 A



図—8. シカの影響を除いた流量 q と総土砂量 A

R と A , q と A のどちらの関係においてもシカの影響があったとされる期間のデータを除くと相関係数は高くなった。したがって、シカが移動することによって土壌表面が攪乱されるなどし、その結果 R や q の増減に関わらない土砂移動が発生していると推測される。

そこで、実際に 2015/12/1～2016/7/20 の期間に土砂受け箱より下流 5～30m の範囲の河川両岸斜面に設置してある斜面侵食土砂計測プロット内において確認された、シカの痕跡と赤外線カメラによって撮影されたシカの回数を合計したシカの出現頻度を以下の図—9 に示す。



図—9. 1 ヶ月あたりのシカ出現頻度

図—9 より、先に述べた強くシカの影響を受けていると考えられた期間(2016/6/17～2016/7/12)においてシカの出現頻度が高くなっていることがわかる。したがって、今回の流出土砂観測においての不規則な土砂量の増減はシカの出現頻度なども関わっていると考えられる。

また、写真—1 に実際に赤外線カメラに写ったシカの写真を示す。



写真—1. 沢内を歩くシカ

この写真のシカのいる場所は、流出土砂を計測している河川が流れている沢内の土砂受け箱設置地点より約 25m 下流地点である。したがって、このようにシカが河川内、もしくは河川周辺で活動し、土壌を攪乱することで流出土砂が増加すると考えられる。

3. 重回帰分析②

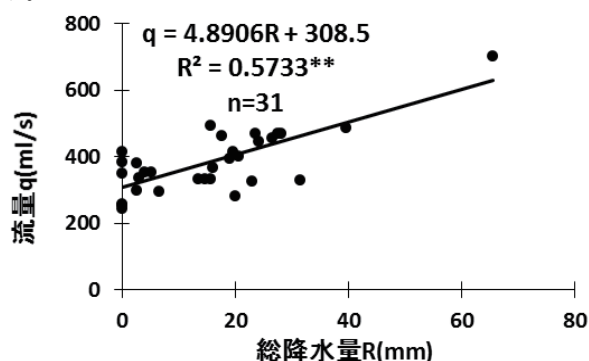
上記に示したシカによる踏み荒らしが原因とされるデータを除き、再度重回帰分析を行ない、その結果を式(2)に示す。

$$A = 0.535R + 6.424r + 0.369q - 114.992 \quad (2)$$

式(2)は、危険率 1% で有意であったが、各説明変数は有意ではなかった。この原因としては、各要因が互いに作用している可能性が高いからだと考えられる。しかし、各要因の係数を比較すると r の係数が最も大きいことから、重回帰分析①と同様に r が A の増減に強く寄与していることがわかる。

4. 河川における流量観測

本研究では、土砂受け箱設置地点において q の観測を行ってきた。そこで、図—10 に R (降雪無) と q の関係を示す。



図—10. 総降水量 R (降雪無) と流量 q

図—10 から、 R と q の関係は危険率 1% で有意であり、 R と q は正の比例関係にあるとわかる。ただし、本研究にける流量観測は経時的に行っているのではなく、降雨終了後 24 時間以内に行っているため、ピーク流量を観測することはできていない。したがって、図—7 に示したように q と A の関係性が比較的高いことから、流量観測体制を整えることで q と A の関係をより明確にすることができ、さらには山地小河川から流出する土砂を予測することが可能になると考えられる。

IV まとめ

以上の I ～ III 章より、本研究では、以下の 4 つの結果が得られた。

- ・流出土砂量は降雨強度に最も依存する
- ・ピーク流量を捉えることはできていないが総期間内降雨

量と流量の関係性は高い

- ・シカが移動することで降雨や流量とは無関係に流出土砂量は増加する。

- ・野田ヶ沢(花崗岩地域)では、河床不安定土砂が多いため、河川の運搬能力によって流出土砂量に変化する

今回の山地小河川からの流出土砂観測では、流出土砂量の増減は降水量、1 時間最大降雨強度、流量と関係性が高いとわかった。したがって、山地小河川からの流出土砂量の予測を行うには、まず対象流域の水文観測を行い、同流域における流量予測を行えるようにする必要がある。そして、その結果を踏まえ、降水量、1 時間最大降雨強度、流量の各要因の影響を考慮しそこから生産される流出土砂を合計することによって、山地小河川からの流出土砂を予測することが可能になると考えられる。

引用文献

- (1) 木本秋津・内田太郎・水山高久・李昌華(1999): 風化花崗岩荒廃山地における流出土砂量の算定, 砂防学会誌, Vol. 52, No. 4, p. 13-18
- (2) 丸谷知巳・笠井美青・牧田正代(2000): 崩壊地を含む小面積流域における流出土砂量, 砂防学会誌, Vol. 52, No. 6, p. 24-31
- (3) 村上亘・細田育広・野口正二(2010): 多雪山地源流域における流出土砂量の経時変化, 地形, 第 31 巻, 第 2 号, p. 171-192
- (4) 佐々木もも帆・小野裕(2016): 信州大学手良沢山演習林における USLE を使用した侵食土砂量の予測, 日本森林学会大会部門別口頭発表, 要旨集, p. 218
- (5) 宇多高明・長島郁夫・古池鋼・宮原志帆・石川仁憲(2008): 天竜川ダム再編事業による流出土砂量の増加が海岸に及ぼす影響, 土木学会, 海岸工学論文集, 第 55 巻, p. 656-660
- (6) 宇多高明・細川順一・三波俊朗・宮原志帆・芹沢真澄・石川仁憲(2012): 急流河川の河口デルタ復元に要する期待流出土砂量-神奈川酒匂川の例-, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 68, No. 4, I_1717-I_1722