

上高地明神地域における USLE を使用した侵食土砂量の予測

佐々木もも帆・小野 裕（信大院農）

上高地は火山性花崗岩地質であるため侵食が起りやすく、近年崩壊地からの侵食土砂が多量に流出している状況にある。本研究では、上高地明神白沢流域において侵食土砂量を実測し、さらにUSLEを用いた流域全体からの侵食土砂量の予測を試みた。その結果、実測値とUSLE予測値は、降雨期間において危険率1%で有意となりUSLEが適用可能であることが分かった。さらに、空中写真と地形図から流域全体の崩壊地面積を求め、USLEを用いて侵食土砂量を算出すると、流域全体からは年間平均6000tonの侵食土砂が出ていることが予測され、うち8割が流域全体面積のわずか7%の崩壊地から流出していることが分かった。また、降雪期においては、凍上融解侵食の可能性を考え降雨期とは別に解析を行った。その結果、凍上融解侵食は凍上融解日数と関係が深いことが考えられた。

キーワード：上高地，土壤侵食，USLE，凍上融解侵食

I はじめに

上高地明神地域は梓川沿いに登山道があり、数々の支流が山腹から登山道をまたぎ梓川に合流している。この登山道と沢とが交わる箇所には大量の土砂が堆積しており、明神館のすぐ上流にある白沢では、毎年土砂をかき出す光景が見られる。原因として、徳本峠を水源としている沢の上流に崩壊地があるため、上流に堆積した土砂が降雨のたびに下流に流されていることがあげられる。これらの対策として沢上流には治山ダムが施工され、土砂の抑止や渓床勾配の緩和など機能を発揮しているが、梓川本流の河床上昇に加え、国有林治山全体計画調査（上高地）（4）によると、平成9年と平成14年の7月の集中豪雨による明神の氾濫や下白沢の土石流発生など、近年は想定以上の土砂が流出しているため対策に追われている状況である。加えて、上流にはまだ不安定土砂が多く堆積しており、降雨の度に土砂が下流に流され、登山道を埋め尽くすということが繰り返されている。我が国においてこのような侵食や崩壊は多発しており、研究も数多く行われている。崩壊地からの侵食量については林野庁治山課（1957）が昭和26年から28年にかけて全国で調査を行った記録があるなど、その歴史は古い。この調査では、全国の荒廃地から平常時の降雨によって流出する侵食土砂量を測定した。それにより、荒廃地の侵食土砂量は土深にして20～40mm/yrであること、荒廃地下端まで移動する流出土砂量は10mm/yr程度であることなどが明らかになっている。また、崩壊地においては、平常時に生じる侵食の積み重ねは気象災害により突発的に大量に発生するもの並みの侵食量を出していることが分かっている。このような侵食量の予測としては6つの要因によって求められるUSLEがある。USLEの山地適用については小林（2004）があり、小林は長野県飯田松川にて降雨期の崩壊地にお

ける侵食土砂量の予測にUSLEが適用することを示した。このように侵食についての研究は多いものの、ここ明神では観光客や登山客が多く近くを通るにもかかわらず未だ崩壊の現状の把握や対策が十分に行われていない状況にある。

本研究では、未だ実測例のない上高地明神白沢において、崩壊地からの表面侵食土砂量の実態を把握しUSLEによる解析を行うこと、および今後の表面侵食量の予測を行うことを目的とした。

II 調査地概要

本研究は、長野県松本市安曇上高地明神下白沢の標高1700mの斜面崩壊地にて調査を行った。調査地概要を図-1に示す。下白沢は流域面積88.214ha、降雨時に崩壊が起りやすいとされる火山性花崗岩地質で、崩壊による土砂の抑止として5基の床固工が施工されているが上流部には未だ多くの不安定土砂が堆積しており、下流へ流出する危険性が高い。降水量は、気象庁が北緯36度14分、東経137度38分、標高1510m地点に設置したアメダス観測点より得られたデータを用いた。降水の特徴として、夏季5月から10月までは主に降雨、冬季11月から4月までは降雪が起こる。

III 調査方法

1. 調査概要

裸地4箇所（プロットNo. 1～4）、植生の富んだ斜面1箇所（プロットNo. 5）、植生の少ない斜面1箇所（プロットNo. 6）、そして崖錐1箇所（プロットNo. 7）の地表状況の違う7箇所に土砂受け箱を設置し、10日から20日間に1度の間隔で測定を行った。土砂受け箱とは、園芸用のプランター（縦20cm、横75cm、高さ20cm）を崩壊斜面下端に穴を掘って差し込み、侵食により流出した土砂が中に入るように固定したものである。プロットの詳細を表-1に示す。このプランターに入った土砂をバケツに移し、有機物をでき

Momoho SASAKI, Hiroshi ONO Fac. of Agri., Shinshu Univ. 15aa204f@shinshu-u.ac.jp
Predict of erosion used USLE in Kamikochi - Myojin area

るだけ取り除いてからはかりで重量を測定した。測定状況を図-2に示す。植生を有するプロットNo.5, 6においては、それぞれプロット内にて50cm×50cmの枠を用意し、植生被度を測定した。調査期間は、2014年7月1日から11月14日までの約4ヶ月半である。この期間内に10日から20日の間隔をあけ、7月16日、7月29日、8月23日、9月8日、9月22日、10月8日、10月23日、11月4日、11月14日の全9回流出土砂の測定を行った。うち、11月4日と11月14日にそれぞれ霜と降雪を記録した。

2. USLEを使用した算出方法

USLEとは、米農務省土地保全局が開発した年侵食土砂量予測式である。通常は農地の侵食土砂量の予測に使用されるが、山地森林や崩壊地にも利用可能であり、高橋 (5) の長野県内の山地における侵食土砂量の比較をはじめ多くの研究で活用されている。式は以下のように6つの因子の積で構成されている。

$$A=R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

ここで、A；年侵食土砂量 (ton/ha/yr)，R；降雨係数 ($m^2 \cdot \text{tonf/ha/h}$)，K；土壌係数 ($\text{ton} \cdot \text{h/m}^2/\text{tonf}$)，L；斜面長係数，S；傾斜係数，C；作物係数，P；保全係数を表す。今回の試験においては、降雨係数Rは気象庁のアメダスのデータより、土壌係数Kは小林ら (2) (3) の論文を参考とし白沢の母岩が花崗岩であることから $K=0.0177$ とした。斜面長係数L、傾斜係数Sは北原 (1) を参考に各プロットまたは地形図より求めた。作物係数Cは裸地斜面では1とし、植生を有する斜面においては裸地と比較しUSLEから逆算することによって求めた。保全係数Pについては今回の試験地では保全は行っていないので1とした。

3. USLE式の因子、作物係数Cの確定

USLEで使用されている作物係数Cは森林では0.01、裸地では1と植生被度の割合によって変化する値である。プロットNo.1~4, 7は裸地なので植生被度0%で係数は1であるが、No.5, 6は植生を有しているため係数は1よりも小さくなる。USLEの作物係数C以外の係数が明らかになっているプロットNo.5, 6と係数が全て決定しているNo.7と比較することによりCの値を求めた。その結果、それぞれの値は、 $C_{No.5}=0.347$ 、 $C_{No.6}=0.579$ となり、この2点に加え、No.7の被度0%を $C=1$ 、被度100%を $C=0.01$ とし、全4点をグラフにとり、指数近似曲線を図-3示す。以降、この式を用いて係数Cを求めることとする。

4. 流域全体の侵食土砂量予測のための面積算出方法

立体鏡を用いて2013年9月17日に撮影された空中写真から、白黒写真の色毎に白色を植生被度0%の崩壊地、灰色を50%の植生復元地、黒色を100%の森林とし白沢・下白沢の崩壊

地面積を地形図に落とした。この値を表-2に示す。その地形図から、被度0%と50%の範囲はプランメータを用いて面積を、等高線より標高差と斜面長を求めた。被度100%の範囲においては、地形図を100m×100m (1ha) のマス目状に区切った上で同様に標高差と斜面長を求めた。

IV 結果と考察

表-3に各プロットで採取した侵食土砂量を示す。侵食土砂量は裸地では多い一方、植生のあるプロットでは極端に少ないという結果が得られた。侵食土砂回収を行った全9回のうち、8回目の11月4日と9回目の11月14日は降雪が見られたため、その他1~7回の計測とは別途に解析を行った。

1. USLEの明神白沢流域への適用

はじめに、USLEが明神白沢に適用できるのか検討を行った。欠測のないプロットNo.7のデータの1~7回目までのデータを用いUSLE予測値と実測値を比較した。検定を行った結果、図-4の直線で示すように回帰式 $y=1.46x+0.187$ 、 $R^2=0.754$ *となり、危険率5%で有意となった。回帰式が1を超えた原因としては、斜面の傾斜角が35度で重力落下による表面侵食が含まれている可能性があることが挙げられる。

2. USLEの全裸地プロットへの適用

IV-1より、USLEの予測値と実測値が相関が高いことが示されたので、次に全裸地プロットNo.1~4, 7のデータ総数計27個の実測値とUSLEにより求めた予測値を比較した。これらの結果を図-4の点線に示す。図のように回帰式は危険率1%で有意となった。なお、図-4中のNo.4の飛び出た値(予測値0.418, 実測値36.102)は、土砂受け箱設置以降初めての測定の際の値であったので、斜面が安定しておらず多く入ったものと考えられる。

3. 白沢・下白沢流域全体の侵食土砂量の推定

先程の検定により下白沢においてUSLE式が適用することが示されたので、次に白沢・下白沢流域全体での侵食土砂量を予測する。III-4で示した方法により白沢・下白沢流域全体を崩壊地(植生被度0%)、植生復元地(被度50%)、森林(被度100%)に分類し面積を求めた。USLEには降雨係数Rは気象庁の10分間降水量データより、2009年~2014年の各年5月1日~10月31日を降雨期と設定し求めた。土壌係数Kは先程の計算と同じく0.0177を使用し、斜面長係数Lと傾斜係数Sは上記の地形図から得たデータをもとに計算を行った。なお、被度100%の場合の斜面係数Sは傾斜を一律35度と設定し値を求めた。作物係数CはIII-3を参考に空中写真より求めた被度を先程の作物係数を求める式に代入することにより求めた。保全係数Pは、白沢・下白沢では山腹工事が行われていないため1とする。これらの係数をUSLEに当てはめ2009年~2014年までの降雨期間の侵食土砂予測

量を求めた。得られた値に崩壊地面積をかけることによって被度ごとの崩壊地の降雨期の侵食土砂予測量を算出した。崩壊地と森林から出る侵食土砂量と表-2に示した白沢流域の被度ごとの面積を比較すると、流域全体のうち崩壊の起こる被度0%と50%の面積の計が流域全体の7%であるのに対し、そこからの侵食土砂量は80%を占めていることから、森林と比較して崩壊地の方が明らかに多量の侵食土砂が流出していることが示された。

4. 凍上融解侵食

積雪のあった8回目(11月4日)と9回目(11月14日)に回収した侵食土砂量については、凍上融解侵食が起こった可能性があるため降雨期とは別途に解析を行った。上高地の気温から凍上融解日数を求め、凍上融解の起こった8,9回目の侵食土砂量と1~7回目の降雨期間に回収した侵食土砂量を比較した。これを図-6に示す。その結果、降雨のみの期間に対して凍上融解侵食が起こると日平均にして約4.2倍もの土砂が侵食されていることが明らかになった。しかし、凍上融解侵食は、裸地区では大きな影響を受けるものの、植生を有する斜面ではほとんど影響が出ないことがわかった。

V まとめ

以上のことから、下白沢流域では実測値とUSLE予測値との間に高い相関が得られたため、降雨期間においてUSLEを使用し侵食土砂量を予測することが可能であることが明らかになった。また、作物係数Cについては崩壊地の植生被度ごとに各々係数Cの値を求められること、さらに白沢・下白沢流域の裸地においてUSLEが適用可能であることが示され、流域面積全体の7%の崩壊地から侵食土砂量全体の80%を占める侵食土砂量が発生することがわかった。

これらをまとめ、USLE式の適用と崩壊地と森林の侵食土砂量、凍上融解侵食の関係について以下のように考察した。

はじめにUSLEの適用範囲については、これまでの小林ら(2)(3)などによる論文では、対応最大傾斜角が30~35度であったが、本研究において崩壊地斜面の傾斜角が40度を超えた場合であってもUSLEが適用できることが示された。一方、USLEは降雨期間においては適用できるが、降雪を含む期間においては凍上融解侵食の影響を大きく受けるため予測できず、適用できないことがわかった。崩壊地において植生の有無は侵食土砂量を大きく左右する。裸地に比べて植生被度が高いほど侵食土砂量は少なく、凍上融解時には降雨期以上に植生の効果が発揮されることが明らかになった。

VI 謝辞

本研究を行うにあたって、信州大学農学部の中澤様、金井様、吉野様に

は大変お世話になりました。この場を借りて厚く御礼を申し上げます。また、調査において大変な中労力を惜しまず協力をしていただいた信州大学農学部の学生にも心より感謝申し上げます。

引用文献

- (1) 北原曜(2002) 民有林補助治山事業全体計画(流域保全型策定)の考え方。治山林道技術研修会資料:3,5~6
- (2) 小林由佳(2003) USLEによる山地流域からの流出土砂量の推定。専攻研究論文:2~13
- (3) 小林由佳・北原曜・小野裕(2004) 風化花崗岩地帯における崩壊地の表面侵食とUSLEによるその解析。日本林学会誌 vol. 86, No. 4: 365~371
- (4) 森林調査設計事務所(株)(2011) 国有林治山全体計画調査(上高地):22
- (5) 高橋昭彦(2005) 長野県内各地の山地における崩壊地からの侵食土砂量とその比較。専攻研究論文:13~15

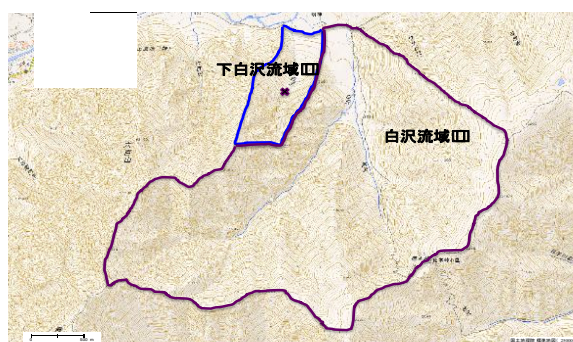


図-1 調査地概要

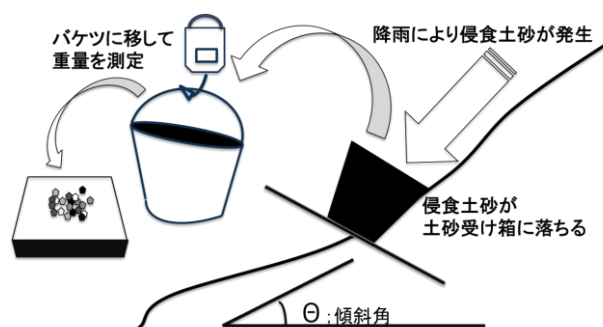


図-2 試験方法

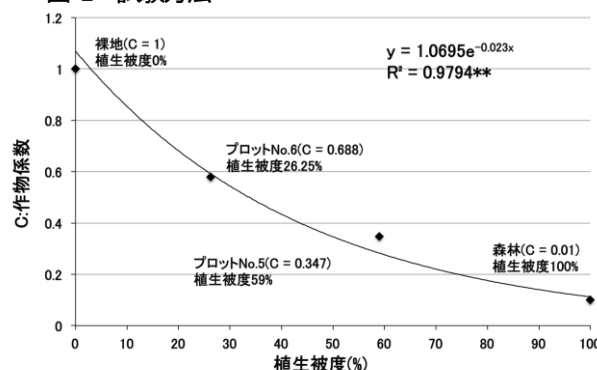


図-3 植生被度と作物係数Cの関係式

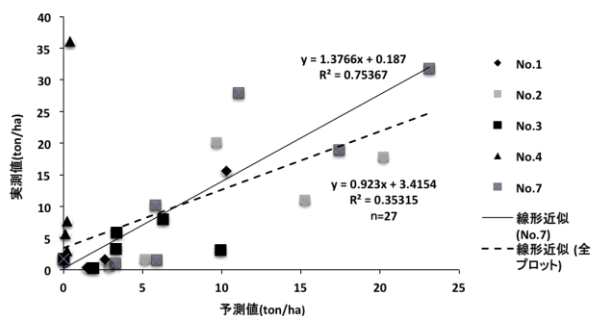


図-4 全裸地プロットの実測値と予測値の比較

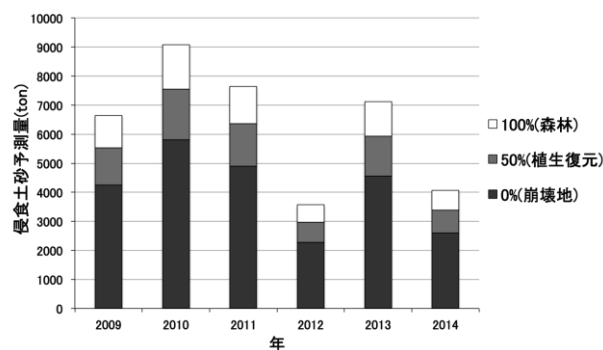


図-5 白沢流域全体の侵食土砂予測量

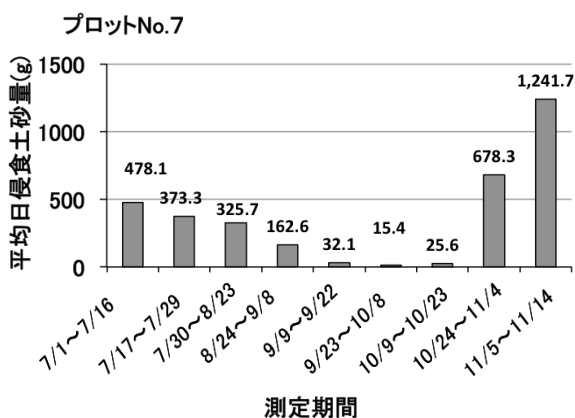
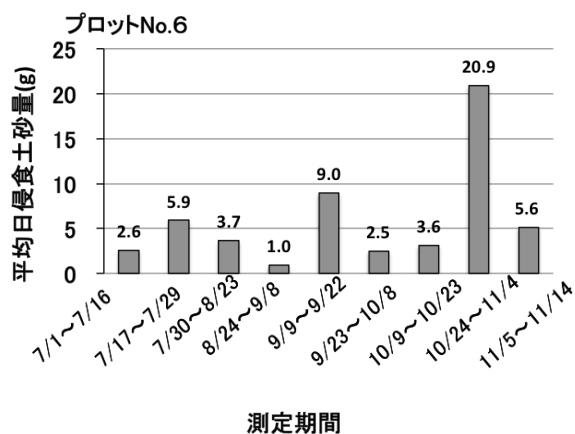


図-6 降雨期と降雪期の日侵食土砂量の比較

表-1 調査地概要

プロット No.	種類	斜面長 (m)	面積 (m ²)	傾斜角 (°)	植生被度 (%)
1	裸地	2.70	2.03	48	0.00
2	裸地	3.00	2.25	52	0.00
3	裸地	1.90	1.43	42	0.00
4	裸地	2.20	1.65	50	0.00
5	植生豊か	3.25	2.44	47	59.00
6	植生が少ない	1.80	1.35	45	26.25
7	崖錐(裸地)	3.85	2.57	48	0.00

表-2 白沢流域の各被度の面積

	崩壊地 (被度0%)	植生有り (被度50%)	森林 (被度100%)
面積(ha)	15.577	13.788	410.802
割合(%)	3.8	3.4	100

表-3 各プロット1㎡あたりの侵食土砂の絶対質量(g)

日付	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7
7月1日							
7月16日		2011.6	794.5	3610.2		28.5	6374.4
7月29日		1103.9	312.1			57.1	4313.5
8月23日	1557.6	1785.4				68.5	7238.4
9月8日			326.7	298.0		11.4	2313.3
9月22日	122.8		173.6	212.0	14.0	93.0	399.6
10月8日	37.9	50.5	27.5	563.9		29.8	219.1
10月23日	160.6	163.7	590.1	774.1	19.5	35.2	341.2
11月4日	1339.1	3492.8	5904.2	2302.7	38.3	185.8	7235.6
11月14日	771.9	2965.6	3900.1	1152.8	8.1	38.3	11036.9