

森林構成と土砂流出防止効果

(県単課題 平成16～23年)

渡邊 次郎

壽田 智久

小澤 創

目 次

要 旨	1
I はじめに	2
II 調査の方法	3
1 研究対象地の設定条件と調査地の設定	3
2 移動土砂量測定トラップの設定方法	4
3 現地調査とデータの回収方法	5
III 結果と考察	6
1 降雨量について	6
2 土砂堆積および土砂移動量について	6
IV おわりに	9
V 謝辞	10
VI 引用文献	10

要 旨

治山ダムの渓床土砂堆積能力に及ぼす影響を予測する手法を開発することを目的として、新設された治山ダムの上流に位置する森林の土砂移動量を調査した。調査対象とした森林はスギ人工林（約40年生）、ヒノキ人工林（約30年生）、崩壊斜面（①植生が発生していない小規模斜面、②植生が侵入し始めた小規模斜面、③崩壊直後の大規模斜面、④崩壊直後の小規模斜面）等の地表被覆条件が異なる6種類の林床と斜面である。この条件が異なる林床や斜面に、1調査区当たり土砂受け箱を1～10個設置して土砂移動量を定期的に調査した。その結果、土砂受け箱に移動した土砂が溜まり回収し土砂の重量を測定することができたことから、林床や斜面の表土移動が発生していることは確認できたが、溪流の縦・横断地形やダムポケットの堆積土砂量に変化を及ぼすような明確な影響は認められなかった。林地における土砂の移動は降雨により発生することが知られているが、今回の調査で得られた森林からの土砂移動量は、スギ人工林における土砂移動量を100とした比数で比較すると、ヒノキ人工林は962、植生が発生していない小規模な斜面は2,736、植生が侵入し始めた小規模な斜面は1,841、崩壊直後の大規模な斜面は7,404、崩壊直後の

 受付日 平成24年5月18日

受理日 平成24年3月29日

小規模な斜面は 5,854 となり、林地林床を被覆する下層植生や落葉被覆物があると表土の移動はほとんど発生しないことから、森林における林床からの表土移動の大きな発生源となっているのは、林床植生や落葉等に被覆されない裸地であることがわかった。さらに、落葉による林床被覆率と土砂移動量との関係を見ると、林床被覆率が低くなると土砂移動量が多くなる傾向が認められた。しかしながら、本研究の調査対象地が 1 箇所のみであったため、一事例としての調査結果に終わり、治山ダムの溪床土砂堆積能力に及ぼす影響を予測する手法を開発するまでには至らなかった。

I はじめに

森林の下層植生や落葉・落枝の林床被覆は、降雨時における林地の雨滴侵食を遮断する効果があるといわれている。森林から流出してダムに溜まる土砂の多くは、降雨時の雨滴侵食による林地の飛散土壌で掃流土壌と呼ばれているが、地表流によって掃流されたものであると報告されている¹⁾。そして、この掃流土壌は整備された森林においては少なく、未整備の森林においては多いと考えられている。ダムに溜まる土砂は、この他に表層崩壊地から流出するもの、溪床の縦断・横断侵食により流出するものが考えられる。また、掃流土壌に関わる因子として、地質、地形、傾斜、下層植生、落葉・落枝などの林地表面の被覆物が報告されている¹⁾。

我が国の林地における土壌侵食の研究は 1930 年代から林野庁林業試験場において、植物地被が土壌侵食に及ぼす効果の測定が行われた^{2) 3)}。その後も継続的に多くの研究機関において類似した研究がなされ、森林における堆積リターや林床植生による被覆は、斜面の土壌侵食強度を左右する主要因子のひとつであることが明らかにされてきた⁴⁾。これらの成果を踏まえて森林の土壌保全機能を維持向上させるための森林施業方法としては、特に落葉・落枝層を含めた最表層の土壌を可能な限り保全すべきで、それにはできれば皆伐は避けるべきである^{5) 6)}と指摘されている。このような中において本県においては森林施業が林地の土砂移動に及ぼす影響について論議されるようになり、多様な広葉樹林の育成・管理技術の開発に取り組み、その中で落葉広葉樹林の伐採率と土砂移動量との関係について調査し、土砂移動量に関係する因子として落葉落枝量をあげている⁷⁾。その後、スギやヒノキなどの針葉樹林における土砂移動量を調査している中で、林地における土砂の移動は降雨により発生するが、林地に下層植生や落葉層等の林床被覆物が存在すると、ほとんど土砂の移動は発生しないことが報告された¹⁾。このような過去の知見をふまえて、本県では、治山ダム上流における林地の表土移動を中心としたデータの解析から、現地の溪流における安定勾配を検討し、溪流の計画勾配を予測する手法を開発して、現場に合致した治山計画、森林整備計画に活用するとともに、治山ダム上流の森林整備の効果と必要性を地元住民を始め広く県民に報せることが強く求められてきた。このため、本県における独自の調査とデータ収集が必要であることから「森林構成と土砂流出防止効果」にかかる調査を実施した。

II 調査の方法

1 研究対象地の設定条件と調査地の設定

本研究における調査対象地の条件を行政側と協議した結果、次の 5 つの条件を満たす場所を調査対象地とすることとした。

- 1) ダムの堆積土砂量に影響を及ぼす全区域および、林相ごとの林分面積が明確である溪流の最上流部に設置されたダムの集水区域内にあること。
- 2) ダムが水や土砂で満杯になっておらず、土砂の堆積量が測定できる状態にあること。
- 3) 森林整備がなされて下層植生が発達している林地と、整備が不十分で下層植生がほとんどみられない林地があること。
- 4) 植生が全くみられない崩壊地と、植生が侵入し始めた崩壊地があること。
- 5) ダム上流の溪床規模が大きすぎないこと。

上記 5 つの条件を満たす場所を県農林水産部森林林業領域治山対策グループ(森林林業総室森林保全課の前身)を始め、各農林事務所森林林業部森林土木グループ(森林土木課の前身)の協力を得て、総数 70 ヶ所を超える現地調査を行った。その結果、ようやく福島県東白川郡矢祭町大字入山字沼畑地内において、2001 年に地域防災対策総合治山の中で溪流最上部に設置された治山ダムの集水区域が明確な林地を 1 ヶ所見つけることができた(図-1)。

その後、現地調査を 3 回実施し、調査対象森林をスギ人工林(約 40 年生(写真-1))、ヒノキ人工林(約 30 年生(写真-2))、崩壊斜面(①植生が発生していない小規模斜面、②植生が侵入し始めた小規模斜面、③崩壊直後の大規模斜面(写真-3)、④崩壊直後の小規模斜面)の 6 種類とした(図-2)。そして、ここに試験区を設定し、それぞれに土砂受け箱を 1 ~ 10 個設置して調査対象地とした。現地の降雨量はピンポイントで測定することになったため、治山ダム左岸側の袖天端に転倒ます型雨量計((株)ウイジン製)を 1 基取り付け自動観測記録した。さらに、治山ダム堤体のポケットに溜まる土砂の堆積量を観察するため、ダム堤体の上流側法面に現在の溪床を 0 m としてダム体放水路天端までリボンスタッフを取り付け固定した。

2007 年 6 月 27 日から調査を開始したが、その後、測定期間中にたびたび測定器材に不具合が生じるなどして一部データに欠落が生じた。さらに、台風襲来の影響で現場が著しく荒廃して極めて危険な状態になったことから、継続調査は不可能と判断し調査は 2010 年 12 月末日をもって中止した。したがって、ここではデータが連続して得られた 2008 年 8 月から 2010 年 7 月までの 2 年間分のデータを解析の対象とした。



図-1 調査場所



写真-1 スギ人工林 (A区)



写真-2 ヒノキ人工林 (B区)



写真-3 大規模崩壊斜面 (E区)

土砂受け箱設置場所の条件区分

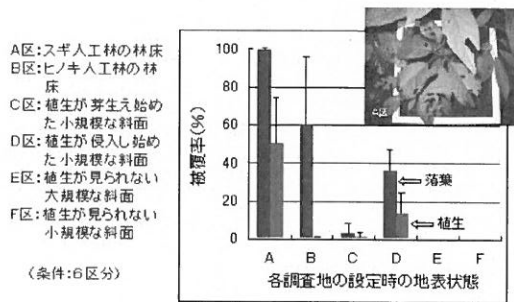


図-2 土砂受け箱設置場所の条件

流出土砂量の調べ方

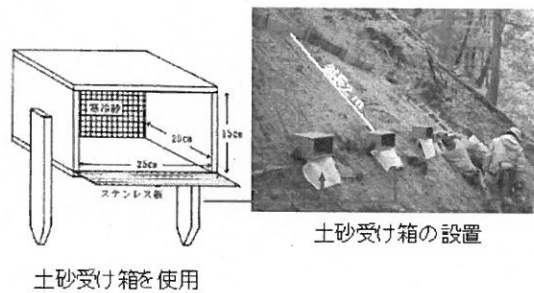


図-3 土砂受け箱と設置方法

2 移動土砂量トラップの設定方法

林地や崩壊地等からの流出土砂量は、表層土壌の移動量を測って求めるが、ここでは木製の小型トラップである「土砂受け箱」¹⁾を用いた(図-3)。土砂受け箱は表-1に示したように全部で33個設置した。A区はNo.1~No.10の10個、B区はNo.11~No.20の10個、C区はNo.21~No.23の3個、D区はNo.24~No.26の3個、E区はNo.27~No.32の6個、F区はNo.33の1個とした。A区の斜面の向きは N60° E~N23° E、傾斜角は 39° ~

27°、B区の斜面の向きはS82°W～S63°W、傾斜角は44°～36°、C区の斜面の向きはN52°E～N15°E、傾斜角は49°～41°、D区の斜面の向きはN15°E、傾斜角はほぼ44°、E区の斜面の向きはN55°E～N35°E、傾斜角は48°～44°、F区の斜面の向きはN1°E、傾斜角は37°と大きく2つの斜面が溪流を挟んで向き合っている。土砂受け箱設定時におけるA区～E区の各調査区の代表的な植生を表-2に示した。A区はスギ人工林であるため上層木がスギ、下層植生（地表植生）はタマアジサイ、ハナイカダ、クジャクシダ、リョウメンシダ、ウワバミソウが優占していた。B区はヒノキ人工林であるため上層木はヒノキが優占していたが、優占する下層植生はほとんど見られなかった。これ以外のC区、D区、E区、F区には優占する下層植生はほとんど見られなかった。土砂受け箱は、幅25×高さ15×奥行き20cmのコンクリートパネル枠で作った奥行き前面と後面が開いている4面で構成された長方形の木枠を用いた。箱の底面が水平になるように木製の杭で箱の両脇を固定し、地面に設置した。土砂受け箱前面の開口部には、前もって張り出し部分が5cmの金属製の薄板を取り付けておき、設置する斜面に水平に差し込み、土砂が底抜けするのを防止した。地表にリター層がある場合には、鉦質土層の表面までリター層を垂直に刈り込み、箱の開口部下端がリター層と鉦質土層の境界部分に位置するように設置した。箱の背面開口部は、1mm以下のメッシュの防虫袋を代用して塞いだ。さらに、全部で31個ある土砂受け箱上部の表土移動斜面範囲を同一にするため、土砂受け箱前面の開口部地面から斜長2mの上部に等高線と土砂受け箱前面の開口部に水平になるように、高さ20cm、幅100cm、厚さ12mmの遮断板を設置した。

表-1 土砂受け箱設置場所の地況

区	箱番号	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	
A区	斜面方位	N60° E	N50° E	N40° E	N40° E	N43° E	N43° E	N32° E	N49° E	N52° E	N23° E	
	傾斜角	33	35	37	38	37	39	37	33	27	37	
B区	箱番号	No.11	No.12	No.13	No.14	No.15	No.16	No.17	No.18	No.19	No.20	
	斜面方位	S63° W	S73° W	S80° W	S76° W	S78° W	S78° W	S72° W	S72° W	S82° W	S82° W	
C区	箱番号	No.21	No.22	No.23								
	斜面方位	N52° E	N16° E	N15° E								
D区	箱番号	No.24	No.25	No.26								
	斜面方位	N15° E	N15° E	N15° E								
E区	箱番号	No.27	No.28	No.29	No.30	No.31	No.32					
	斜面方位	N50° E	N50° E	N35° E	N50° E	N55° E	N50° E					
F区	箱番号	No.33										
	斜面方位	N1° E										
	傾斜角	37										

表-2 調査区の植生

	上層木	下層優占植生
A区	スギ	タマアジサイ、ハナイカダ、クジャクシダ、リョウメンシダ、ウワバミソウ
B区	ヒノキ	
C区		
D区		
E区		
F区		

3 現地調査とデータの回収方法

土砂受け箱や雨量計の設置が終了した2007年6月27日を測定開始日として翌日から30日ごとに、50cm×50cm四方の枠を用いてその中の林床植生被覆度と落葉による被覆度を調査記録すると共に、各土砂受け箱に溜まった土砂を1月から12月まで毎月1度1箱

分ずつビニール袋に入れて回収し林業研究センターに持ち帰った。持ち帰った土砂は直ちにホーロー製のバットに敷き均し、乾燥機を用い乾燥温度 105℃で 24 時間乾燥して落葉を取り除き、石や細土別に区分せずにバットごと土砂全体の乾燥重量を台秤で測定し、測定後にバットの重さを差し引いた値を土砂受け箱 1 個当りに溜まった土砂量を土砂移動量として求めた。さらに、林地から移動した土砂は流水によって流下して下流の治山ダムのポケットに堆積すると考えられることから、治山ダムポケットとダム上流側溪流の地形の変化点 18 ヶ所の定点において縦・横断の測量ができるようにプラスチック杭を打ち込んで地形を測量した。さらに、治山ダムに直接堆積する土砂量については、上流側壁面に取り付けたリボンスタッフの目盛を読み取って測定した。現地の局所降雨量については、溪流の上流側から下流側に向かって治山ダムの左岸側の袖天端に転倒ます型雨量計（(株)ウイジン製）を取り付け、10 分間隔で 1 ヶ月間データロガーに自動記録したデータをコミュニケーションベース UIZ3912 (USB) にコピーして持ち帰った。

Ⅲ 結果と考察

1 降雨量について

月間降雨量の測定結果は図-4のとおりであり、当該地としては例年になく調査期間中の降雨量が多かったのが特徴的である。わずか 24 ヶ月の間に月間降雨量が 100mm を超えた月が 14 回（このうち 200mm を超えた月が 2 回、300mm を超えた月が 2 回）もあったことから、近年稀に見る降雨量の多い年であったと言える。台風襲来直後に現場を確認したが、その時の治山ダムのポケットは満水状態になり、ダムの水抜き穴からは勢いよく水が流出し、さらに放水路天端からは水が勢いよく越流していた。さらに、溪流の上流から流されてきたと思われる元口直径約 30cm、長さ約 4m のスギ丸太が越流できずに放水路天端に乗り上げ横たわっていた。この現場の 2 ヶ月間の降雨量から 1 月間当りの平均降雨量を求めると約 129mm、年間降雨量は約 1,549mm となるが、本県の年間平均降水量が 1,250mm であるから、単純に今回の年間降雨量だけと比較しても約 300mm も多く降ったことになる。

2 土砂堆積及び土砂移動量について

(1) 溪流の土砂堆積と土砂移動量

溪流の移動土砂量を調査するため、2007 年 4 月 16 日、2007 年 11 月 22 日、2009 年 5 月 1 日の計 3 回溪流の縦・横断測量を行ったが、溪流の縦・横断地形とダムポケットの堆積土砂量に大きな変化は認められず、特に台風が襲来した 2007 年 8 月に約 300mm の降雨があつたにも関わらず、堆積土砂量はほとんど認められなかった。台風襲来直後の治山ダムのポケットは満水になり放水路天端を越流していたことから、大量の流水が溪流を流下して治山ダムのポケットに溜まったことは間違いないが、水がひいた後に土砂が溜まった形跡は認められなかった。その後も何度か降雨後ダム上流側の法面に水位痕が見られたことがあつたが、土砂は溜まっていなかったことから、林地における表土の流亡と土砂の移動は小さいものと考えられる。

(2) 各調査地における土砂移動量

土砂受け箱から回収した 1 箱当たりの土砂量（重量）は図-4のとおりである。A 区（スギ人工林の林床）における土砂移動量は、0 ～ 63 ± 160g（±は標準偏差以下同

様)であった。B区(ヒノキ人工林の林床)における土砂移動量は、 $9 \pm 12 \sim 207 \pm 192\text{g}$ であった。C区(植生が芽生え始めた小規模な斜面)における土砂移動量は、 $13 \sim 773 \pm 329\text{g}$ であった。D区(植生が侵入し始めた小規模な斜面)における土砂移動量は、 $0 \sim 387 \pm 114\text{g}$ であった。E区(植生が見られない大規模な斜面)は、 $79 \pm 61\text{g}$ であった。F区(植生が見られない小規模な斜面)における土砂移動量は、 $0 \sim 2,386 \pm 1,053\text{g}$ であった。これらA区、B区、C区、D区、E区、F区における土砂移動量は、ほぼ毎月同じように地表被覆区が小さく裸地区が大きいのが特徴として挙げられる。2008年11月のE区における土砂移動量 $2,354 \pm 1,371\text{g}$ とF区における土砂移動量 $4,356\text{g}$ が突出して大きい。これは土砂回収以前の8月から10月にかけての3ヶ月間の合計降雨量が 584.5mm と非常に多かったことから、風化が進んだ裸地斜面表層土に溜まった降雨の影響で力学的安定を失って滑落型山腹崩壊が発生したと考えられる。A～F区におけるそれぞれの試験区の年間土砂移動量を単純に平均にして、A区(スギ人工林の林床)の1ヶ月間の土砂移動量を100とした比数で比較すると図-5のとおりであり、B区(ヒノキ人工林の林床)は962となりA区の9.6倍、C区(植生が芽生え始めた小規模な斜面)は2,736となりA区の27.4倍、D区(植生が侵入し始めた小規模な斜面)は1,841となりA区の18.4倍、E区(植生が見られない大規模な斜面)は7,404となりA区の74.0倍、F区(植生が見られない小規模な斜面)は5,854でA区の58.5倍となり、それぞれ6ヶ所の試験区における土砂移動量を単純に比較すると、E区における冬期間の崩れを除いてほぼ毎月同じようにE区が一番多く、次にF区>C区>D区>B区>A区の順と少なく、この傾向は毎月の土砂移動量の分布にも見られ、E区、F区>C区>D区>B区>A区と同じであった。つまり下層植生や落葉による林床被覆が発達した林床では、下層植生や林床被覆が緩衝帯となって、林床はほとんど降雨の影響を受けないため表土の流亡がほとんど発生せず、裸地斜面が表土流亡の大きな発生源と考えられた。

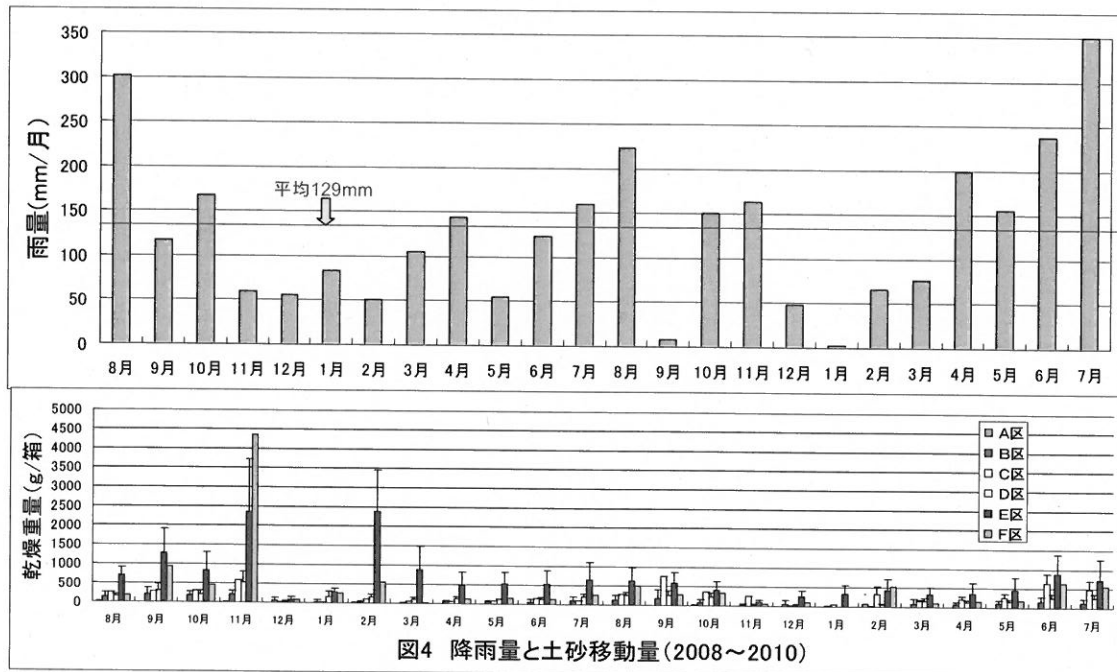
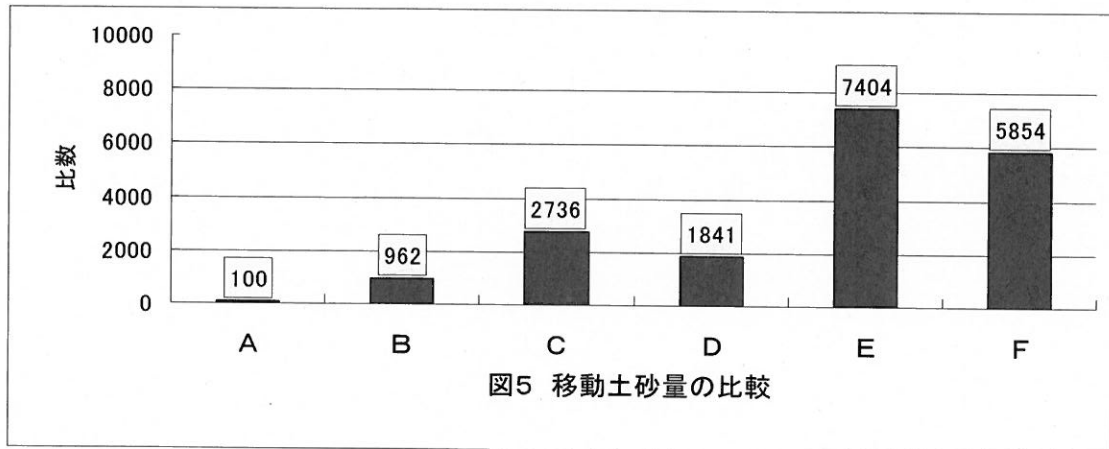
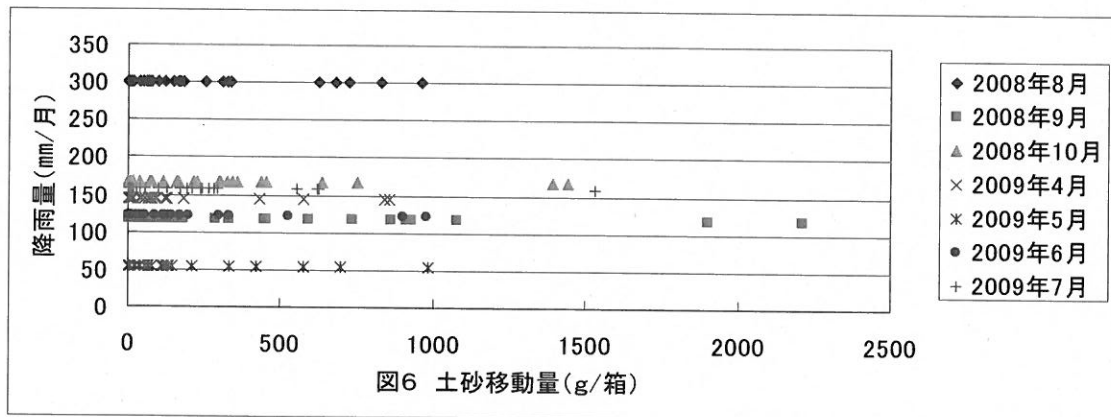


図4 降雨量と土砂移動量(2008～2010)



(3) 降雨量と土砂移動量との関係

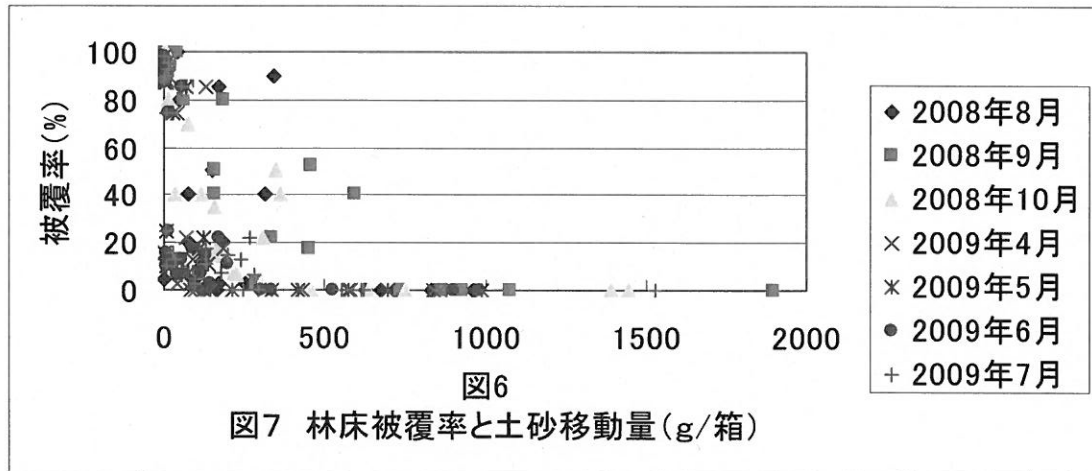
降雨量と土砂移動量との関係について検討した。その結果を示したのが図-6である。2008年8月の降雨量(301.0 mm)、2008年9月の降雨量(116.5 mm)、2008年10月の降雨量(167.0 mm)、2009年4月の降雨量(144.0 mm)、2009年5月の降雨量(54.0 mm)、2009年6月の降雨量(123.0 mm)、2009年7月の降雨量(159.0 mm)と、それぞれの降雨量と同月の各土砂受け箱から回収した土砂受け箱1個当りの土砂量との関係を見たが明確な関係は認められなかった。さらに、降雨量が多かった2008年8月、2008年9月、2008年10月の土砂移動量に注目しても明らかな関係は認められなかった。



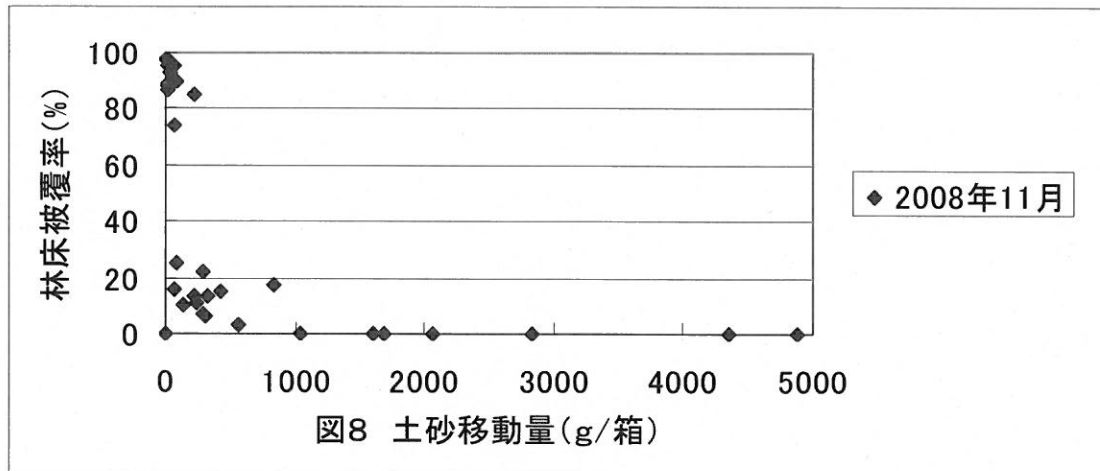
(4) 林床被覆率と土砂移動量

林床被覆率が土砂移動に大きく関係していることはほぼ間違いないと考えられたため、林床被覆率と土砂移動量の関係についても調査した。その結果を示したのが図-7である。現地においては毎月1回調査を実施したが、この結果からは測定月によってバラツキがあるため断言できないが、月ごと全体ともに林床被覆率が低くなると土砂移動量が多くなる傾向にあるようである。このことは、林床の状態と物質移動レートの関係は、細土や全礫移動レートが、被覆状態の変化に対してきわめて鋭敏に反応する。林床被覆除去試験直後に細土や全礫移動レートは急激に増加し、除去処理期間中の10 - 20%の林床被覆率の一

時的な増加にも直ちに反応して低下した¹⁾ という知見とほぼ同じ傾向にあるといえる。



次に、土砂移動量が大きかった2008年11月の林床被覆率と土砂移動量を図-8に示した。この時における土砂移動量は2008年8月～2009年7月までの結果と比較すると圧倒的に多かった。林床被覆率が低くなると土砂移動量が多くなるという傾向は、土砂移動量に林床被覆率が大きく関係していると考えてよいようである。



IV おわりに

本研究では調査対象地としてふさわしい場所が1ヶ所しか得られなかったが、最低限必要なデータは得られ、ある程度目的は達成されたと考えている。さらに、台風や大雨の影響により現場が著しく荒廃し、土砂受け箱等調査器具の存続維持が困難になったため、研究期間途中で中止することになった。したがって、ごく限られた条件の下での調査結果ではあるが、森林構成と土砂流出防止効果の一調査事例が示された。今後同様の研究を行う機会があればさらなる行政機関の協力の下、間伐実施区を設けるなど工夫し、さらに緻密な調査を実施する必要があると考えている。

V 謝 辞

本研究を進めるにあたっては、調査地対象森林所有者の調査にご尽力をいただいた矢祭町役場、土地の使用にご承諾をいただいた所有者の方々、さらに試験地設定当初から多大なるご指導とご協力をいただいた、独立行政法人森林総合研究所水土保全研究領域山地災害研究室黒川潮主任研究員（現在は森林総合研究所関西支所森林環境研究グループ在籍）に、心より尊敬の念と感謝の意を表します。

VI 引用文献

- 1) 三浦 覚：森林の林床被覆が有する土壌侵食防止機能の評価手法に関する研究，東京大学博士号学位請求論文,17-20,87-128（2002）
- 2) 勝谷 稔：有林地と無林地との溪谷から流出する土砂量に就いて,砂防 61,3-8（1938）
- 3) 川口武雄：山本勝市土砂扞止林の伐採と流出土砂について,林業試験集報 57,1-19（1948）
- 4) 有光一登：森林の土壌保全機能,森林の公益的機能解説シリーズ⑩,3-44（19878）
- 5) 川口武雄：山地土壌侵食の研究（第1報）林業試験集報 61,1-36（1961）
- 6) 佐藤弘和：浮遊土砂の流出抑制に配慮した森林管理方,日林誌 88(1),50-59（2006）
- 7) 今井辰雄,渡邊 治：多様な広葉樹林の育成・管理技術の開発,福島県林業研究センター研究報告第37号. 1-21（2003）