

---

 原著論文
 

---

 スギ・ヒノキ人工林における土砂受け箱で捕捉された土壌と  
 地山表層土壌の粒径組成の比較

 Examination of differences in particle size compositions between soils trapped by sediment traps  
 and surface soils of forest floor in sugi and hinoki plantations
島田博匡<sup>1)\*</sup>Hiromasa Shimada<sup>1)\*</sup>

**要旨：**地質が異なる3カ所のスギ・ヒノキ人工林において土砂受け箱で捕捉された2時期の土壌（8月、10月）と地山表層土壌の粒径組成を比較し、土砂受け箱による微細な土壌の捕捉程度について検討を行った。いずれの場所、時期でも、土砂受け箱で捕捉された土壌において、土砂受け箱背面に取り付けられたメッシュネットのメッシュサイズよりも小さい粒径の土壌の割合は地山表層土壌と同程度であった。土砂受け箱で捕捉された土壌と地山表層土壌の粒径組成の比較においても有意差がみられる場所、時期は少なく、土砂受け箱は地山表層土壌とほぼ同様の粒径組成の土壌を捕捉していることが確認された。

**キーワード：**表土移動、土砂受け箱、粒径組成、メッシュサイズ

**Abstract:** To understand the ability of sediment trap to trap fine particle soils, I examined differences in the particle size composition between soils trapped by sediment traps in two time periods (August and October) and surface soils of forest floor in three sites of sugi (*Cryptomeria japonica*) and hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) plantations with different surface geology. In the soil trapped by the sediment trap during the study period, the proportion of soil that consisted of particle size smaller than the sediment trap net mesh size was about the same as that of the surface soil. Multi-response permutation procedures hardly detected any difference in particle size composition between the soil trapped by sediment traps and surface soils in this study. This confirmed that the particle size composition of trapped soil in the sediment trap is almost similar to that of surface soils.

**Key Word:** mesh size, particle size composition, surface soil movement, sediment trap

## はじめに

国内の森林における表土移動量の評価では、土砂受け箱による測定がこれまで数多く行われてきた(塚本1999;三浦・新山2012)。土砂受け箱には箱内に侵入した水の排水のため、箱背面にメッシュネットが取り付けられており(塚本1999;三浦・新山2012)、粘土やシルト、細砂などメッシュサイズよりも微細な土壌は水とともに流出している可能性があるが、メッシュネットから流出する土砂量について検討した報告例はみられない。土砂受け箱の有効性を明らかにするためには、微細な土壌の捕捉程度を明らかにする必要がある。また、土壌の粒径組成は母材となる地質毎に異なることから、捕

---

<sup>1)</sup> 三重県林業研究所

Mie Prefecture Forestry Research Institute

\* E-mail : shimah03@pref.mie.lg.jp

捉状況は地質によって異なる可能性がある。加えて、粒径の異なる土砂礫の移動の仕方には違いがみられ（岩川ら1987b）、粒径2 mm未満の細土では移動量と降雨因子との間に密接な関係を示すが（塚本1989）、粒径2 mm以上の礫では霜柱や自然崩落が影響し、移動量と降雨因子との関係が相対的に不明瞭になる（岩川ら1987a；Tsukamoto 1993）。そのため、降雨量が多い時期には細土の移動量が増えるとともに、粒径組成に占める細土の割合が増え、降雨量が少ない時期では細土の移動量と割合が減ることで、時期によって粒径組成に差異が生じる可能性がある。そこで、本研究では、三重県内の地質が異なる3地区のスギ人工林、ヒノキ人工林において、多雨期と少雨期に土砂受け箱で捕捉された土壌と地山表層土壌の粒径組成を比較し、土砂受け箱による微細な土壌の捕捉程度、それに及ぼす地質や土砂受け箱による捕捉時期と捕捉量の影響について検討を行った。

## 方法

### 1. 試験地

三重県津市白山町（以下、白山）、多気郡大台町（以下、大台）、熊野市飛鳥町（以下、熊野）の人工林を試験地とし、粒度試験に供した土壌試料を採取した。ここでは、森林における表土移動を明らかにするため、各試験地内のスギ人工林とヒノキ人工林に設置された試験区内（200 m<sup>2</sup>～400 m<sup>2</sup>；以下、スギ試験区、ヒノキ試験区）で土砂受け箱法（塚本1999）による観測が2014年あるいは2015年より行われている（島田ら未発表）。試験地の地質は異なり、白山は花崗閃緑岩、大台は砂岩・頁岩・輝緑凝灰岩、熊野は花崗斑岩であった。また、土壌型は白山のスギ試験区がB<sub>D</sub>型、ヒノキ試験区がB<sub>D(d)</sub>型、大台と熊野はスギ試験区、ヒノキ試験区ともにB<sub>D</sub>型であった。メッシュ平年値2010（気象庁2012）による白山の年平均気温は13.8℃、年間降水量は1,735.8 mm、大台は12.4℃、2,974.4 mm、熊野は14.1℃、3,292.7 mmであった。2015年時点の林齢は白山のスギ試験区が32年生、ヒノキ試験区が47年生、大台ではそれぞれ36年生と16年生、熊野ではそれぞれ18年生、63年生であった。大台、熊野では2015年3月、白山では2016年1月下旬～2月中旬に間伐が行われており、間伐後の立木密度は白山のスギ試験区が2,300本/ha、ヒノキ試験区が1,050本/ha、大台はそれぞれ1,250本/ha、1,150本/ha、熊野ではそれぞれ2,600本/ha、1,000本/haであった。

土砂受け箱は、内寸が幅25 cm、高さ15 cm、奥行き20 cmの木製箱で、背面には水が抜けるようメッシュネットを取り付け、前面受け口の上辺には接地部の土が箱の下へ抜けないようにブリキ製エプロン板を前方に5 cm張り出すように取り付けたものである。メッシュネットはポリエチレン製ネット（サンサンネットソフライトSL6500；日本ワイドクロス株式会社製）で、メッシュサイズ（目合い）は0.2 mm×0.4 mmであった。白山では2014年11月上旬に試験区が設置され、スギ試験区で30個、ヒノキ試験区で59個の土砂受け箱が設置された。土砂移動の観測は2014年12月から行われた。大台、熊野では2015年4月に試験区が設置され、スギ試験区、ヒノキ試験区ともに20個の土砂受け箱が設置され、2015年5月より土砂移動の観測が行われた。いずれの調査地も土砂受け箱で捕捉された内容物の回収は1～2ヶ月おきに実施された。

### 2. 試験に用いた試料

粒度試験に供した土壌試料の詳細を表-1に示す。土砂受け箱で捕捉された土壌（以下、土砂受け箱土壌）は、2015年8月（多雨期；以下、8月分）と10月（少雨期；以下、10月分）に捕捉された土壌試料を分析の対象とし、各試験地のスギ試験区、ヒノキ試験区からそれぞれ3試料抽出して粒度試験に供した。各月の捕捉期間は、8月分は白山が2015年8月6日から9月3日、大台と熊野が2015年8月

表-1. 粒度試験に供した土壌試料の概要

試験地	試験区	土砂受け箱捕捉土壌						地山表層土壌				
		期間雨量(mm)		8月分		10月分		捕捉期間	0~5cm		5~15cm	
		8月分	10月分	箱No	絶乾重(g)	箱No	絶乾重(g)		No	絶乾重(g/400cc)	No	絶乾重(g/400cc)
白山	スギ	309.25	19.75	B301	80.82	B301	3.45	8月: 2015/8/6~9/3	1	334.05	1	376.72
				B317	40.47	B317	3.73		2	320.59	2	361.53
				B321	104.29	B321	9.50					
	ヒノキ	352.50	24.75	R507	253.64	R507	39.36	10月: 2015/10/6~11/4	1	291.99	1	330.13
				R510	330.82	R510	27.86		2	287.34	2	332.87
				R513	166.75	R513	9.37					
大台	スギ	893.00	75.50	P401	96.29	P401	2.30	8月: 2015/8/5~9/2	1	323.94	1	357.26
				P402	47.17	P403	0.52		2	347.58	2	367.91
				P407	126.04	P407	1.19					
	ヒノキ	920.00	76.00	P431	145.15	P431	75.76	10月: 2015/10/5~11/10	1	311.28	1	335.57
				P439	333.66	P439	66.59		2	327.95	2	345.26
				P440	226.34	P440	98.69					
熊野	スギ	600.50	81.50	P322	38.70	P322	5.80	8月: 2015/8/5~9/2	1	241.59	1	252.56
				P324	100.82	P324	5.26		2	253.26	2	255.65
				P327	52.61	P327	3.89					
	ヒノキ	581.00	91.00	P301	77.81	P301	28.79	10月: 2015/10/5~11/10	1	251.37	1	294.84
				P306	51.36	P306	2.23		2	231.97	2	331.30
				P315	95.67	P315	19.00					

期間雨量は各試験区で観測した林内雨量，絶乾重は有機物を取り除いた土壌のみの重量を示す。

5日から9月2日，10月分は白山が2015年10月6日から11月4日，大台と熊野が2015年10月5日から11月10日であった。また，分析に供した試料は基本的に2時期で同一の箱から回収した試料とした（大台スギ試験区の1試料のみ異なる）。地山表層土壌は，各試験区付近の試験区外において，A<sub>0</sub>層を取り除いたのち，400 cc採土円筒を用いて地表面から深さ0~5 cm，5~15 cmより各2個の試料を非攪乱で採取した。採取した試料は採土円筒に入れたまま実験室に持ち帰り，粒度試験に供した。採取日は白山が2016年5月18日，大台が2016年5月19日，熊野が2016年5月20日であった。

### 3. 試験方法

粒度試験の方法は，地盤工学会（2012）の方法（JIS A 1204）に従って行った。試験は試料毎に有機物を取り除いた後の土壌全量に対して行った。なお，本研究では，105℃で24時間乾燥して絶乾重を測定した後の乾燥試料に対して試験を行った。また，粒径が0.075 mm未満の範囲の粒度を細分しないことから沈降分析を省略した。過酸化水素6%溶液と分散剤を用いた分散は行わず，乾燥試料に十分な水道水を加えて1分以上攪拌したのち，0.075 mmふるい上で水洗いし，0.075 mmふるい上に残留した試料を，105℃，24時間乾燥後にふるい分けした。このとき，使用したふるいは目開き0.075 mm，0.106 mm，0.25 mm，0.425 mm，0.85 mm，2 mm，4.75 mm，9.5 mm，19 mm，26.5 mm，37.5 mm，53 mm，75 mmの金属製網ふるいであり，各ふるい上で土壌構造を十分に壊しつつふるい分けを行い，ふるい上に残った土壌の質量（g）を測定した。

### 4. 解析方法

各試料の粒度試験の結果から，粒径加積曲線を作成して試験区毎に示した。礫の移動は霜柱や重力の影響による自然崩落によることが多く（岩川ら1987a；Tsukamoto 1993），土砂受け箱土壌と地山表層土壌では礫（2 mm以上）の割合が異なることが報告されている（Tsukamoto 1993）。本研究におい

ても礫の捕捉程度が同一試験区，同一時期内で試料間にバラツキを生じさせる可能性があるため，礫を除外した2 mm未満の細土のみの粒径加積曲線も作成した。

土砂受け箱土壌と地山表層土壌の粒径組成に差異があるかどうかを明らかにするために，Multi-Response Permutation Procedures (MRPP) による分析を行った。各試料の粒度試験の結果を地盤工学会の分類 (JGS0051) に従い，粒径区分 (～0.075 mm：粘土・シルト，～0.25 mm：細砂，～0.85 mm：中砂，～2 mm：粗砂，～4.75 mm：細礫，～19 mm：中礫，～75 mm：粗礫) して，各区分に占める土壌の質量割合 (%) を算出したうえで，各試験区において時期別 (8月分，10月分) に，土砂受け箱土壌 (3個) と地山表層土壌 (4個) をそれぞれ1つのグループとし，グループ間の粒径組成に有意差があるかどうかをMRPPにより検定した。解析には，PC-ORD for Windows 6.19 (MjM Software社) を使用し，非類似度指数はユークリッド距離，各グループの試料数に応じた重みづけ方法はPC-ORDのデフォルトである全試料数Nに対する各グループの試料数nの割合 (n/N) とした (McCune and Grace 2002)。また，礫を除外した2 mm未満の細土のみに対しても同様の解析を行った。

## 結果

### 1. 土砂受け箱土壌と地山表層土壌の粒径加積曲線

各試験区において，8月分の土砂受け箱土壌の粒径加積曲線を図-1に，10月分を図-2に示す。8月分の土壌全量の粒径加積曲線の形状では，白山で2 mm以上の礫の質量割合が大台，熊野よりも低く，試料間の曲線形状のバラツキも小さい傾向がみられた (図-1a)。細土のみの粒径加積曲線でもバラツキの傾向は同様であった (図-1b)。10月分では，土壌全量の曲線の太台ヒノキ試験区で，礫の割合が著しく大きい試料があり，試料間の曲線形状のバラツキが大きくなったが (図-2a)，その他では8月分とほぼ同様の傾向がみられた。8月分は捕捉された土壌量が多く，10月分は捕捉された土壌量が少ないが (表-1)，2時期の粒径加積曲線には大きな違いはみられなかった。

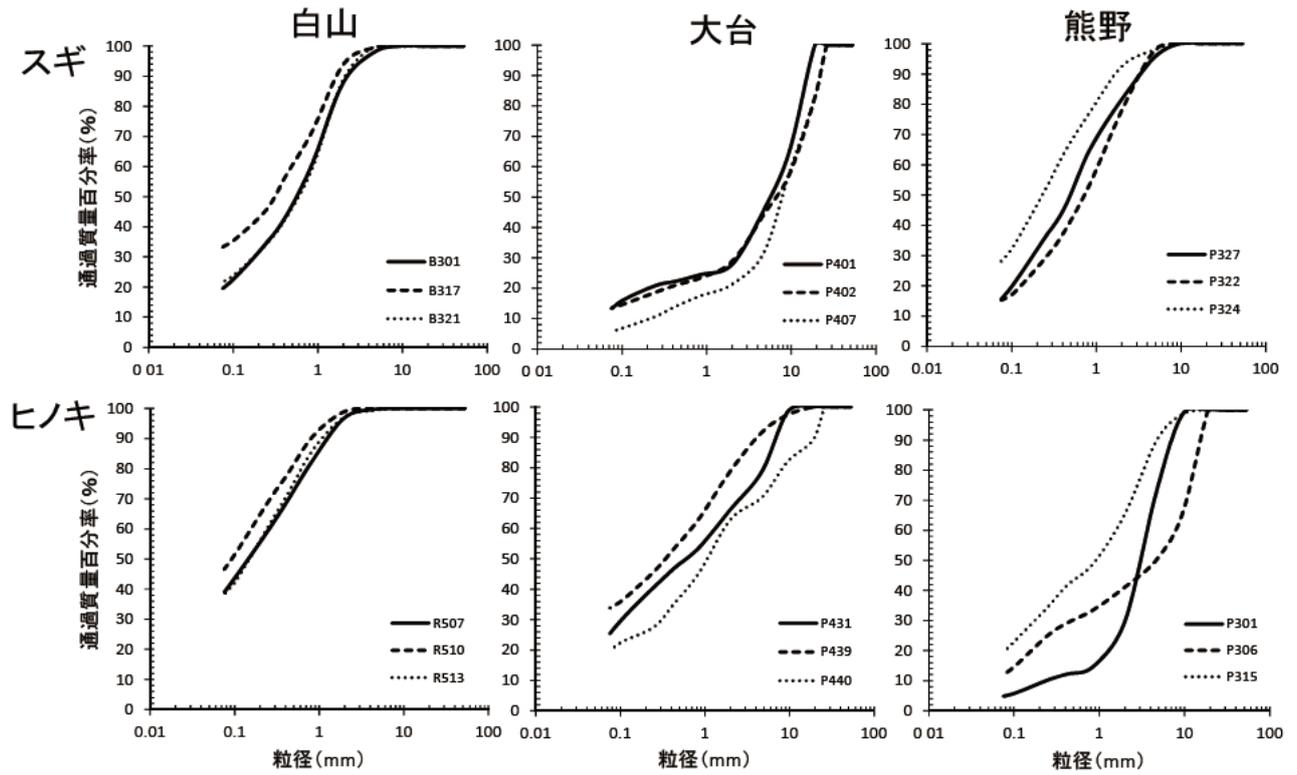
地山表層土壌の粒径加積曲線を図-3に示す。いずれの試験区においても土壌全量の曲線，細土のみの曲線ともに，深さ0～5 cmと5～15 cmでほとんど違いはみられなかった (図-3a, b)。また，土砂受け箱土壌よりも試料間のバラツキが小さい傾向がみられた。曲線の形状は土砂受け箱土壌と比較して，土壌全量の曲線の太台スギ，ヒノキ試験区，熊野ヒノキ試験区では2 mm以上の礫の割合がやや小さかったが，土壌全量のその他の曲線，細土の全ての曲線では土砂受け箱土壌とほぼ同様の傾向であった。

なお，地山表層土壌では，いずれの試験区においても深さ0～5 cmと5～15 cmの試料の粒径加積曲線にほとんど違いがみられなかったため (図-3)，以降に示す解析結果では，両者を一つのグループとしてまとめることとした。

### 2. 土砂受け箱土壌と地山表層土壌のメッシュサイズよりも小さい土壌の割合

本研究で使用した土砂受け箱背面に取り付けたメッシュネットのメッシュサイズは0.2 mm × 0.4 mmであり，0.425 mmふるい通過分はメッシュネットを通過する可能性がある。そこで，0.425 mm未満の土壌をメッシュサイズよりも小さい土壌とし，メッシュサイズよりも小さい粒径の土壌の質量割合を，土砂受け箱土壌と地山表層土壌の間で比較するために，また，土砂受け箱による土壌捕捉量とメッシュサイズよりも小さい土壌の質量割合との関係を明らかにするために，8月分，10月分をプールし，土壌絶乾重 (土砂受け箱土壌は土砂受け箱で捕捉した土壌絶乾重，地山表層土壌は400 cc採土円筒で採取した土壌絶乾重) と0.425 mm未満土壌質量割合 (%) の関係を試験区毎に図-4に示す。土砂受け箱

a) 土壌全量 (細土, 礫)



b) 細土のみ

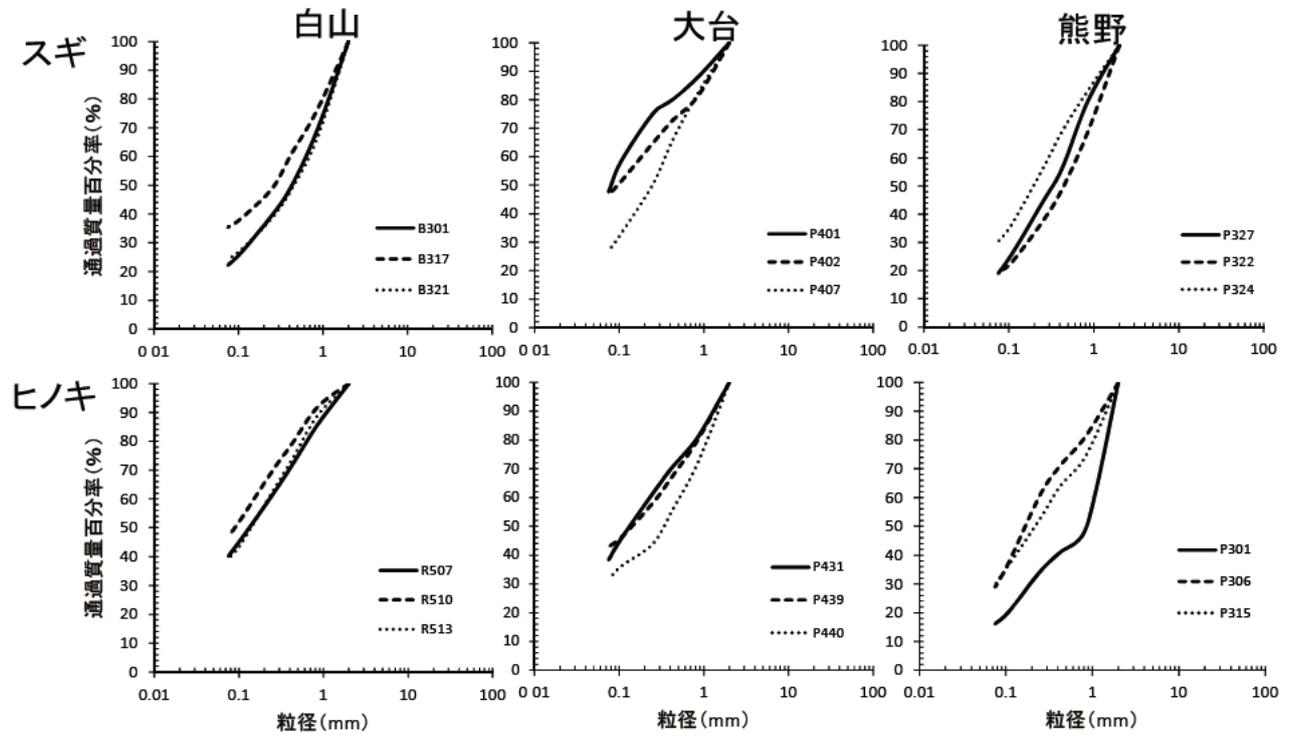
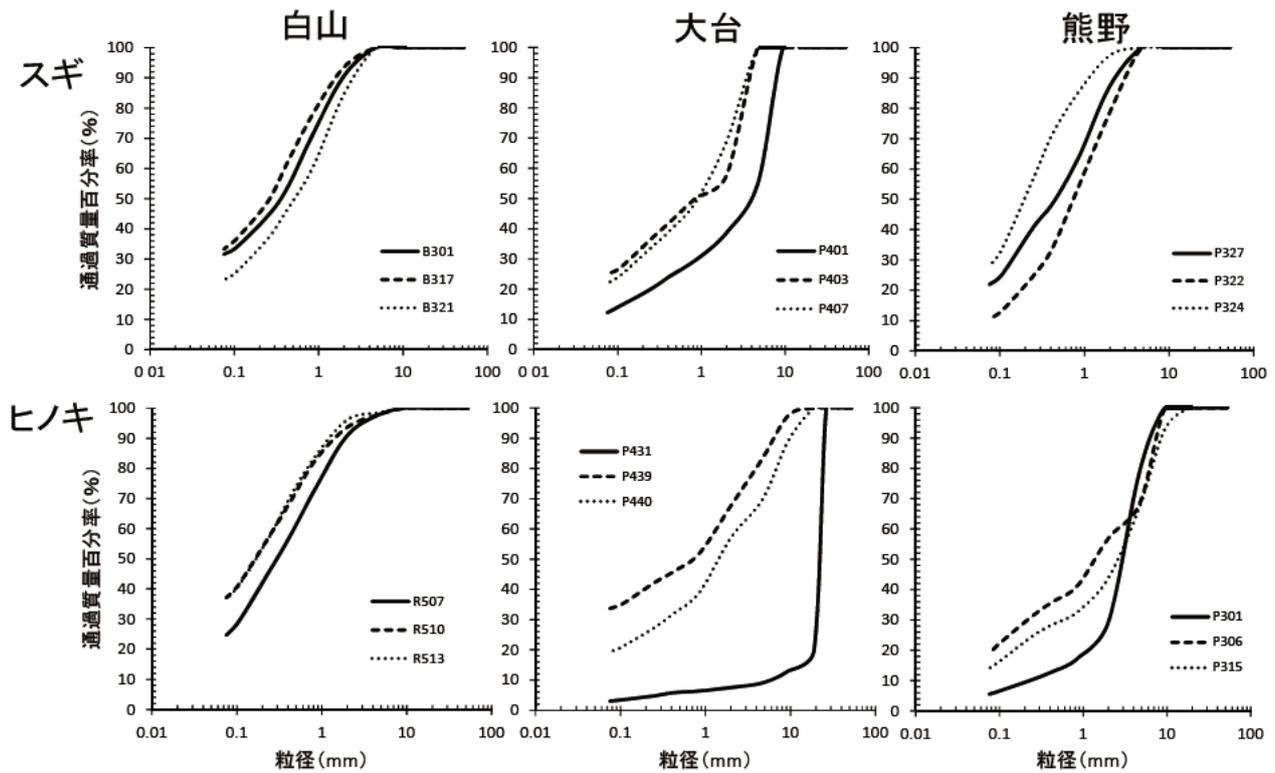


図-1. 土砂受け箱土壤の粒径加積曲線 (8月分)

a) 土壌全量 (細土, 礫)



b) 細土のみ

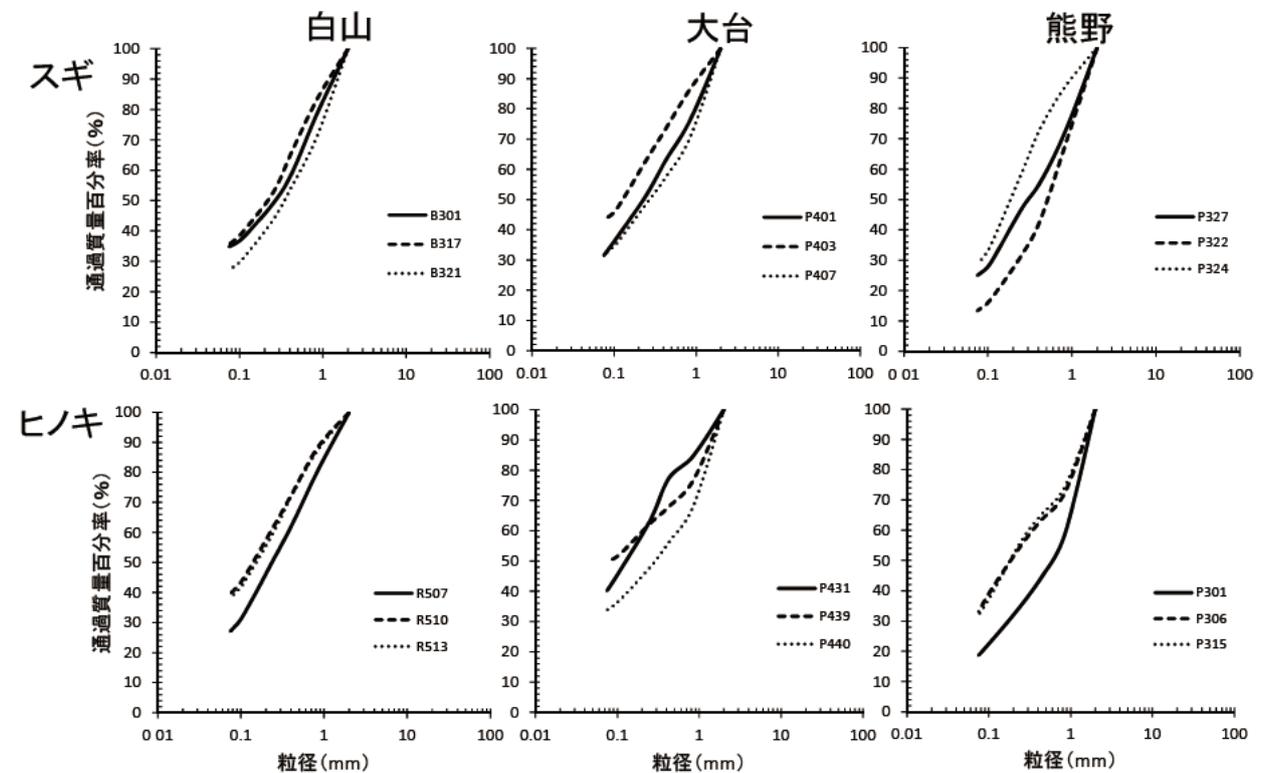
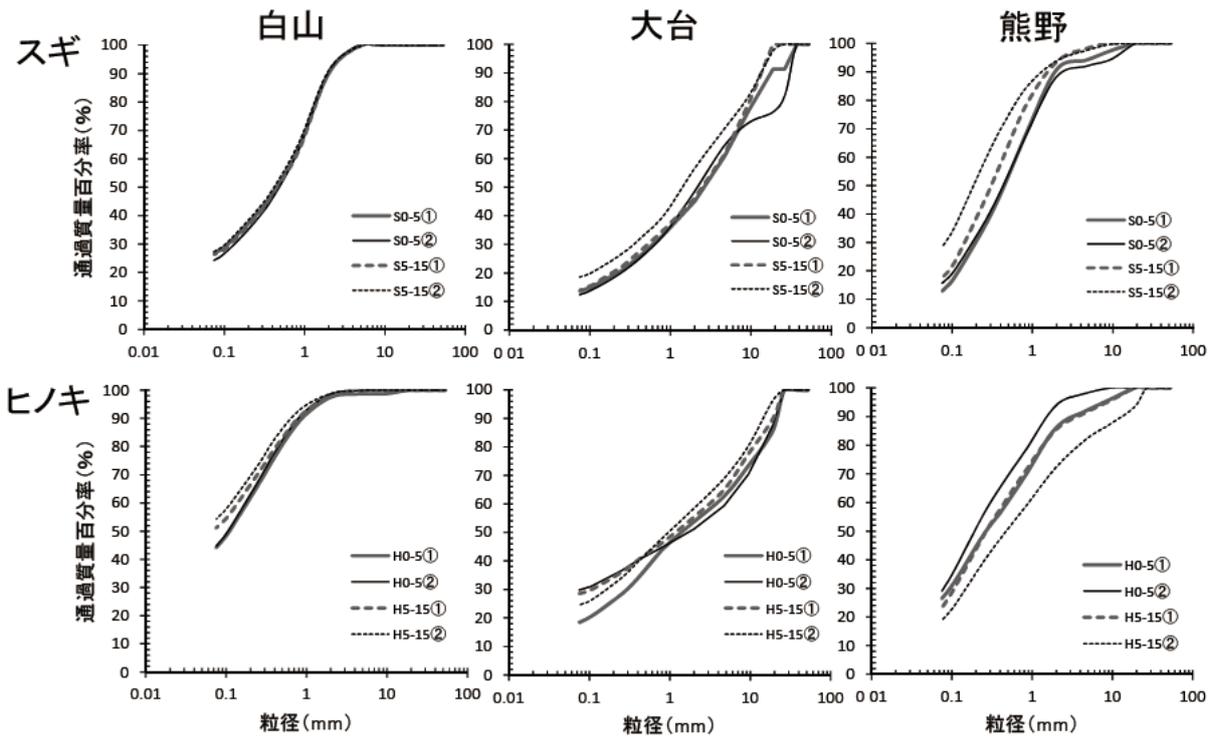


図-2. 土砂受け箱土壤の粒径加積曲線 (10月分)

a) 土壤全量 (細土, 礫)



b) 細土のみ

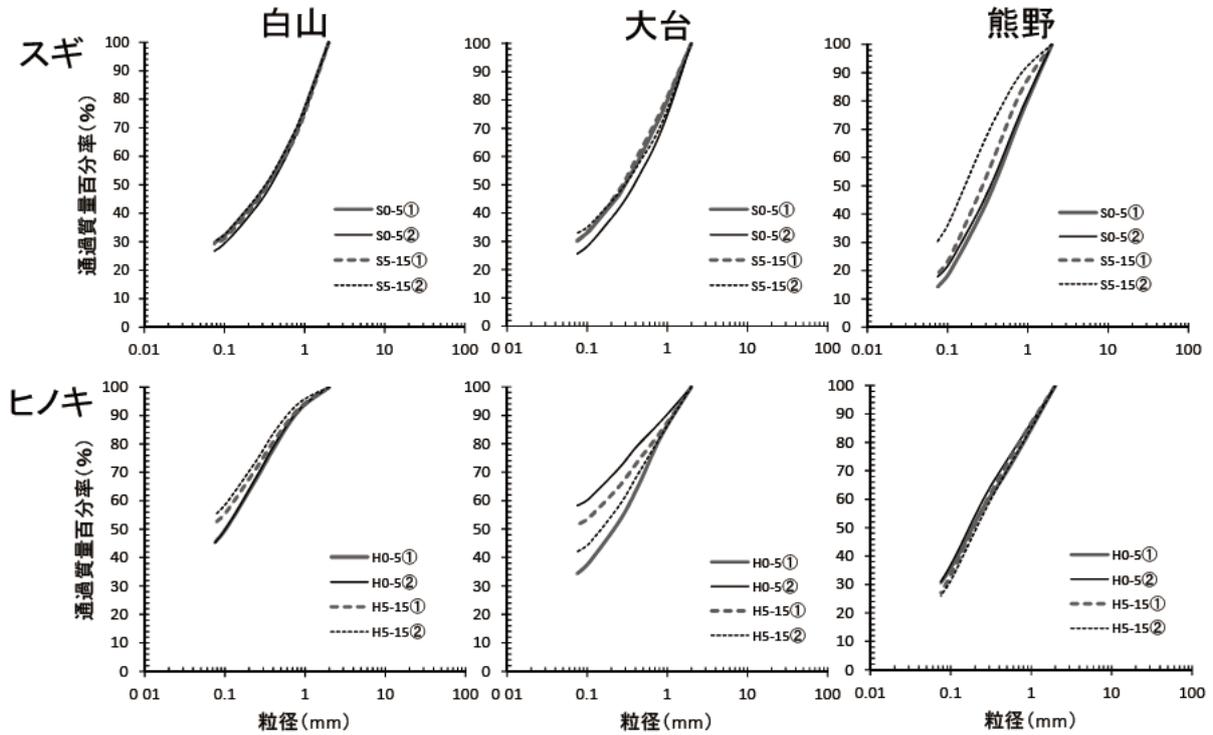
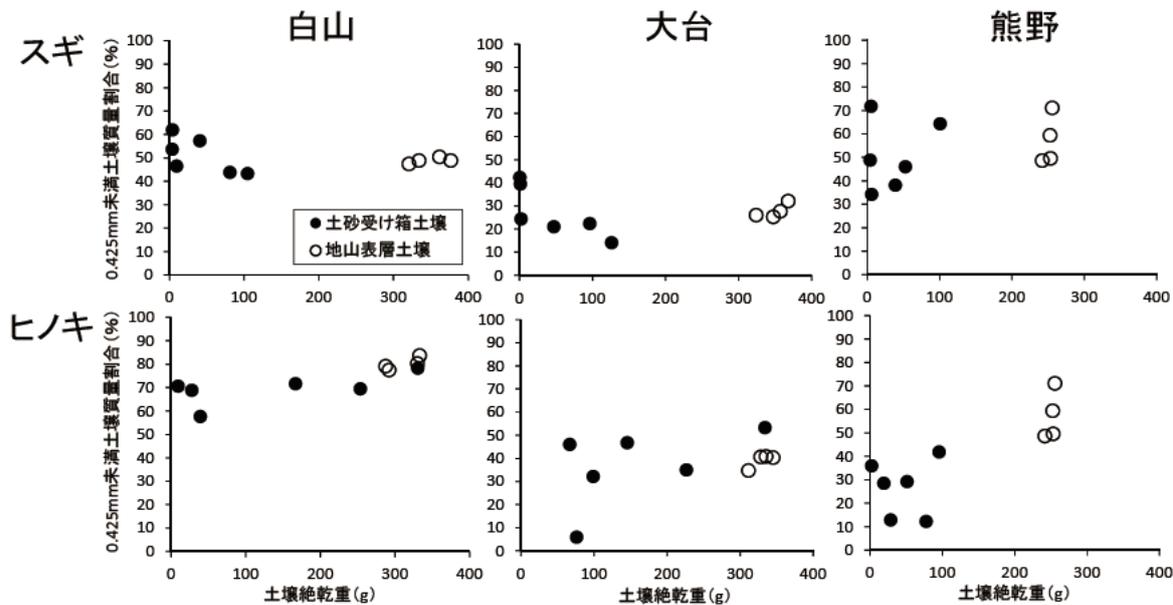


図-3. 地山表層土壤の粒径加積曲線

a) 土壤全量 (細土, 礫)



b) 細土のみ

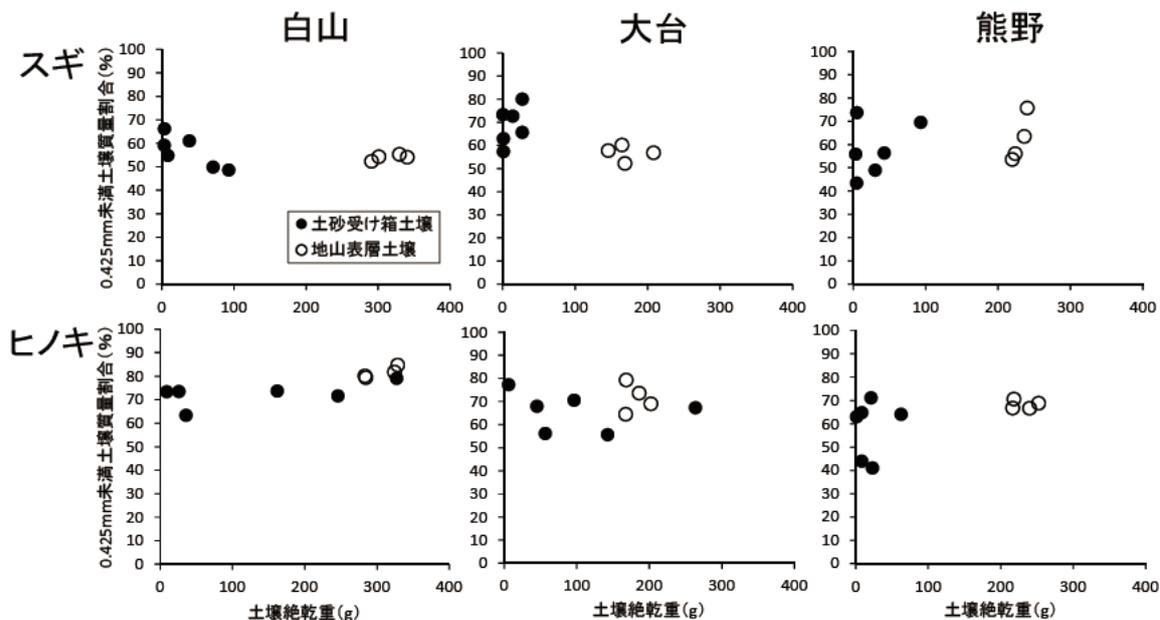


図-4. 土砂受け箱土壤あるいは地山表層土壤の絶乾重と0.425 mm未満土壤質量割合の関係

土壤の土壤絶乾重と0.425 mm未満の土壤の質量割合の関係には、土壤全量、細土のみともに、いずれの試験区においても有意な相関は認められなかった。0.425 mm未満の土壤の質量割合は、土壤全量では白山のスギ試験区で50%程度、ヒノキ試験区で70%程度、大台、熊野ではバラツキが大きく、大台のスギ試験区で10~40%、ヒノキ試験区で10~50%、熊野のスギ試験区で30~70%、ヒノキ試験区で10~40%であった (図-4a)。細土のみでは、さらに割合が高くなる傾向がみられた (図-4b)。また、土砂受け箱土壤 (6個) と地山表層土壤 (4個) の0.425 mm未満の土壤の質量割合の平均値を比較する

表-2. MRPPによる土砂受け箱土壌と地山表層土壌の粒径組成の比較

試験地	試験区		土壌全量(細土, 礫)		細土のみ	
			土砂受け箱捕捉土壌		土砂受け箱捕捉土壌	
			8月分	10月分	8月分	10月分
白山	スギ	地山表層土壌	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	ヒノキ	地山表層土壌	n.s.	< 0.05	n.s.	< 0.05
大台	スギ	地山表層土壌	< 0.05	n.s.	n.s.	n.s.
	ヒノキ	地山表層土壌	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
熊野	スギ	地山表層土壌	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	ヒノキ	地山表層土壌	< 0.05	< 0.05	n.s.	n.s.

<0.05:5%水準で粒径組成が有意に異なる; n.s.:粒径組成に有意差がない

ために $t$ 検定を行った。土壌全量では、白山のヒノキ試験区で5%水準、熊野のヒノキ試験区で1%水準の有意差、細土のみでは、白山のヒノキ試験区と大台のスギ試験区で、ともに5%水準の有意差がみられたが、その他の試験区では有意差がみられなかった。有意差がみられた試験区においても土壌全量の熊野のヒノキ試験区を除き、土砂受け箱土壌と地山表層土壌で大きな違いはなく、0.425 mm未満の土壌の質量割合は比較的大きかった(図-4a, b)。土壌全量で有意差がみられた熊野のヒノキ試験区でも、細土のみでは有意差はみられなかった。

### 3. 土砂受け箱土壌と地山表層土壌の粒径組成の比較

MRPPにより土砂受け箱土壌と地山表層土壌の粒径組成を比較した結果を表-2に示す。土砂受け箱土壌と地山表層土壌の粒径組成の間に有意差がみられる試験区、時期は少なく、多くが類似していた。土壌全量では、熊野のヒノキ試験区のみ8月分、10月分ともに有意差がみられ、細土のみでは白山のヒノキ試験区10月分のみ有意差がみられた。

### 考察

地質が異なる3カ所のスギ人工林、ヒノキ人工林における8月分と10月分の土砂受け箱土壌において、粒径加積曲線を地山表層土壌と比較したところ、いくつかの例外はあるものの大半は類似していた(図-1~3)。また、メッシュサイズよりも小さい粒径(0.425 mm未満の土壌)の土壌の質量割合は、地山表層土壌とほぼ同程度であった(図-4)。MRPPにより土砂受け箱土壌と地山表層土壌の粒径組成を比較した結果でも、土砂受け箱土壌と地山表層土壌の粒径組成の間に有意差がみられる試験区、時期は少なかった(表-2)。土砂受け箱土壌のメッシュサイズよりも小さい粒径の土壌の質量割合や粒径組成を地山表層土壌と比較したとき、土壌全量では有意差がみられた試験区、時期について、これらを細土のみで比較した場合には有意差がみられないことがほとんどであった(図-4, 表-2)。このことは土壌全量でみられた有意差には、両者間の礫量の差異が関係していること示唆しており、メッシュサイズよりも小さい粒径の土壌量が粒径組成の差異に及ぼす影響は小さいと考えられた。なお、礫量の差異をもたらす要因として、礫の移動には霜柱や自然崩落が影響し、降雨と密接に関係する細土と移動の仕方が異なること(岩川ら1987a; Tsukamoto 1993)、地山表層土壌の採取に使用した採土円筒では、礫を避けて採土する傾向があること(太田・片桐1988)が関係している可能性がある。

メッシュサイズよりも小さい粒径の土壌はメッシュネットから流出する可能性があるが、今回の粒度試験の結果、土砂受け箱土壌にはメッシュサイズよりも微細な土壌が多量に含まれており、これら

の質量割合は、地山表層土壌とほとんど差がみられなかった（図-4）。このことについて、単一の土壌粒子（一次粒子）は普通単独の粒子ではなく、一次粒子同士が互い結びついて二次粒子を形成しており、実際の土壌で一次粒子が単独で存在する場合は極めて少ない（河田1993b）。二次粒子の配列状態を示すものが土壌構造であるが、本研究の試験区でみられたB<sub>D</sub>型土壌ではA層上部に団粒状構造が発達し、B<sub>D(d)</sub>型土壌ではA層上部に粒状構造が発達したり、あるいは団粒状構造に粒状構造が混じる（河田1993a）。団粒状構造は数mm程度、粒状構造は2~5mm程度の大きさであり（八木1993）、これらはメッシュサイズよりも大きく、メッシュネットから流れ出にくいことが推察される。そのため、いずれの地質、時期（多雨期、少雨期）においてもメッシュサイズよりも小さい粒径の土壌は、メッシュサイズよりも小さい粒径の土壌の質量割合や粒径組成に影響を与えるほど、メッシュネットから流出しておらず、大部分の土壌が捕捉されていると考えられる。本研究ではメッシュサイズが0.2mm×0.4mmであったが、他報告でも30メッシュ（0.6mm程度）（塚本1989, 1999；古澤ら2003；山瀬ら2010；榎木・高橋2016）、0.4mmメッシュ（渡邊・井川原2015；渡邊ら2016）など、一般的な森林土壌表層の土壌構造よりも小さいものが使用されており、本研究と同様に、地山表層土壌とほぼ同様の粒径組成の土壌が捕捉されていると考えられる。そのため、国内の森林において数多く行われてきた土砂受け箱法により、すべての粒径を含む表土移動量を適切に評価できていると考えられる。

#### 謝辞

本研究の実施にあたり、森林所有者の皆様には多くの便宜を図っていただきました。また、試験区の設置、土壌試料採取において、浅井俊次氏をはじめ三重県林業研究所の多くの職員にご協力いただきました。ここに記して謝意を表します。

#### 引用文献

- 榎木 勉・高橋一太（2016）ニホンジカの採食により下層植生が衰退した林地斜面における土壌の移動—九州大学宮崎演習林での事例—。九大演報97: 1-6
- 古澤仁美・宮西裕美・金子真司・日野輝明（2003）ニホンジカの採食によって林床植生の劣化した針広混交林でのリターおよび土壌の移動。日林誌85: 318-325
- 岩川雄幸・井上輝一郎・酒井正治（1987a）山腹斜面のヒノキ林におけるリターおよび土砂の移動について（I）—移動量と斜面位置ならびに降水条件との関係—。日林関西支講38: 9-52
- 岩川雄幸・井上輝一郎・酒井正治（1987b）山腹斜面のヒノキ林におけるリターおよび土砂の移動について（II）—移動量と立地因子との関係—。日林関西支講38: 53-56
- 地盤工学会「土質試験—基本と手引き—」改訂編集WG（2012）土質試験—基本と手引き—（第二回改訂版）。丸善出版
- 河田 弘（1993a）森林土壌の分類（森林土壌の調べ方とその性質（改訂版）。森林土壌研究会編，林野弘済会）。65-99
- 河田 弘（1993b）土壌の理化学的性質（森林土壌の調べ方とその性質（改訂版）。森林土壌研究会編，林野弘済会）。214-241
- 気象庁（2012）平年値メッシュデータ（メッシュ平年値2010）。国土交通省国土数値情報ダウンロードサービス <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-G02.html>（参照：2016-5-2）
- McCune B, Grace J B（2002）Analysis of ecological communities. MjM software design
- 三浦 覚・新山 馨（2012）土砂受け箱を使った評価。（広葉樹林化ハンドブック2012—人工林を広

- 葉樹林へと誘導するために－. 森林総合研究所「広葉樹林化」研究プロジェクトチーム). 28-29
- 太田猛彦・片桐 真 (1988) 大型透水試験器による森林土壌の透水係数の測定 (I). 日林誌70: 367-370
- 塚本次郎 (1989) 林地斜面における表層物質の移動 (I) 日林誌 71: 469-480
- Tsukamoto J (1993) Movement of soil and litter down slopes in three types of forests (II). J Jpn For Soc 75: 440-444
- 塚本次郎 (1999) 移動土砂量の簡易測定法. (森林立地調査法. 森林立地調査法編集委員会編, 博友社). 195-196
- 渡邊仁志・井川原弘一 (2015) ササに覆われたヒノキ林林床における表土移動量. 日緑工誌41: 315-318
- 渡邊仁志・井川原弘一・茂木靖和・横井秀一・平井敬三 (2016) 植栽樹種の違いが同一斜面のヒノキ, スギ, アカマツ人工林の表土移動に及ぼす影響. 日林誌98: 193-198
- 八木久義 (1993) 野外における土壌及び生成環境の調べ方 (森林土壌の調べ方とその性質 (改訂版). 森林土壌研究会編, 林野弘済会). 28-64
- 山瀬敬太郎・栃本大介・関岡裕明・藤堂千景 (2010) 間伐木を利用した筋工による森林表土の流亡抑制. 日緑工誌36: 9-14