

スギ・ヒノキ過密人工林における強度の間伐が地表土砂移動量へ及ぼす影響†

加藤 徹¹⁾・伊藤 愛²⁾・綿野好則³⁾・近藤 晃¹⁾

¹⁾農林技術研究所森林・林業研究センター, ²⁾県自然保護課, ³⁾県研究開発課

Effects of Aggressive Thinning on the Intensity of Soil Erosion in Overcrowded Sugi and Hinoki Plantation Forests

Toru Kato¹⁾, Ai Ito²⁾, Yoshinori Watano³⁾, Akira Kondo¹⁾

¹⁾ Forestry and Forest Products Research Center / Shizuoka Res.Inst.of Agri.and Forest, ²⁾ Shizuoka Pref. Wildlife Conservation Division, ³⁾ Shizuoka Pref. Research and Development Division.

キーワード：間伐，細土，植被率，土砂移動，リター，林床植生

I 緒言

1980年代から続く木材価格の低迷は、林業経営をする者の経営意欲を減退させ、間伐等の森林施業が遅れた造林地を各地で発生させている。間伐が遅れ、過密となった林では林床植生がなくなり、森林の持つ水土保持機能や生物多様性保全機能などへの悪影響が懸念される⁶⁾。

そのような手入れ不足の人工林に対し、環境税などを導入して強度の間伐を行い林床植生を復活させる試みが2005年頃から各地で行われるようになってきた。しかし、その効果の検証は主に植生調査などの直接的な影響の調査に限られ、それに伴う水土保持機能などの検証はまだ十分ではない¹⁾⁵⁾⁸⁾。また、皆伐では林木の伐採・搬出に伴う地表の攪乱により土砂の流出が一時的に増加してしまうことが報告されている⁹⁾が、間伐に関する地表攪乱の影響等については知られていない。

そのため、本研究では水土保持機能のうち、調査手法が比較的確立している土砂の流出にかかる地表土砂の移動量に関し、手入れ不足なスギ・ヒノキ過密人工林における強度の間伐が及ぼす影響について把握することを目的とした。そして、まず強度の間伐後に変化する林床植生やリター(落葉枝)による林床被覆と地表土砂の移動量の

関係を考察し、その後で間伐手法による地表土砂の移動量への影響について考察した。この間伐手法については、その代表的な作業種である列状間伐の伐採方向と伐倒した材の搬出の有無が土砂の移動量に与える影響について調査した。

II 方法

調査地は、手入れ不足により過密となり林床に植生がほとんどなく、その後強度の間伐が行われた伊豆市湯ヶ島(以下、湯ヶ島)と浜松市天竜区龍山町下平山(同、龍山町)、富士宮市精進川(同、精進川)の3箇所の人工林(表1)に設定した。間伐率はいずれも本数割合として約40%で、事業の完了検査で確認されている。そして、移動土砂は土砂受け箱法⁴⁾で調査した。各調査地では平均的な地形の任意の場所に4箇所の調査区を設けた(図1)。各調査区には等高線に沿う20mの調査ライン上に5m間隔で5箇所の調査ポイントを設定し、それぞれ1基(計20基調査地)の土砂受け箱を設置した。

土砂受け箱は、受け口の幅25cm、高さ15cm、奥行きが20cmの木枠でできている(写真1)。土砂受け箱の受け口の底面前縁には、設置部の土が箱の下へ抜けるのを防ぐために、ブリキ製エプロン板を水平に取り付け、背面

† 本報告の一部は平成23年度中部森林学会大会(金沢市)で発表した。

表1 調査地の概況

調査地	調査区	傾斜 (°, ±SD)	標高 (m)	方位	地質	土壌	上層構成種	林齢 (年)	立木密度 (本/ha) ()内は間伐前	間伐			調査期間 (年)
										時期	伐採形状	集材	
湯ヶ島	1	32 ± 2	470	W	沖積世 天城側火山 噴出物 (未固結堆積物)	黒ボク土	ヒノキ	42 (2009年)	1219 (1567)	2009 年末	列状 (横方向)	無	2009 ～ 2015
	2	33 ± 2	470	W									
	3	31 ± 2	480	W									
	4	31 ± 2	480	W									
	平均	32 ± 2											
龍山町	1	25 ± 8	770	S	後期白亜紀 光明層群 (堆積岩類)	褐色森 林土	ヒノキ(一部スギ) ヒノキ(一部スギ) スギ	29-35 (2006年)	1875 (4525)	2006 年末	列状 (縦方向) + 定性	無	2007 ～ 2015
	2	43 ± 2	780	S									
	3	34 ± 9	810	S									
	4	35 ± 3	810	SE									
	平均	34 ± 9											
精進川	1	34 ± 2	640	SE	新第3紀 上稲子層群 (固結岩類)	黒ボク土	ヒノキ	54 (2009年)	1355 (1790)	2009 年末	列状 (縦方向)	有	2009 ～ 2015
	2	32 ± 2	640	SE									
	3	35 ± 1	620	SE									
	4	40 ± 3	620	SE									
	平均	35 ± 3											

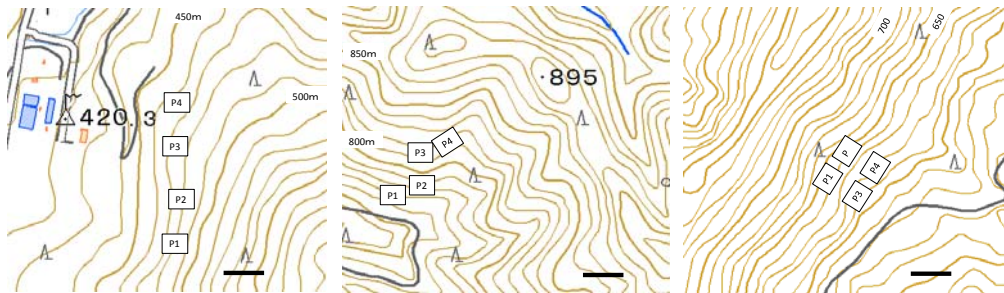


図1 各調査地における調査区の配置(左より, 湯ヶ島, 龍山町, 精進川調査地)

1) スケールは100mを示す。



写真1 土砂受け箱



写真2 土砂受け箱エプロン板の前に置いたポイントカウンティング用木枠

は土砂等の流出を防ぐためにナイロンメッシュの布で覆った。調査は降雪期を除いた4～12月に行い、概ね2ヶ月ごとに捕捉された土砂やリターを回収した。

回収した土砂等は105℃で24時間乾燥させた後、リターと礫、細土の3要素に分別し、再度105℃で24時間乾燥させた上でそれぞれ重量を測定した。なお、土砂等は団粒等の構造を壊した後、細土は2mmメッシュの篩を通過したものとし、通過しなかったものを目視でリターと礫に分けた。

土砂とリターの移動量の解析は、等高線に沿う幅1mのラインを通過する土砂等の量(g/m)を、調査期間中の総降水量(mm)で除して算出される物質移動レート(g/m/mm)で行った。なお、降水量は近接した気象庁のアメダス・

データ(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, 湯ヶ島調査地—湯ヶ島観測所, 距離 3.9km, 精進川調査地—白糸観測所, 同 3.1km)を使用した。近接地に観測地点のない龍山調査地は佐久間観測所(距離 10.6km)と天竜観測所(同 13.9km)のデータを平均して使用した。

また、毎年8～9月頃に各調査ポイントの土砂受け箱のエプロン板前面の斜面について、植生とリターによる林床被覆率をそれぞれポイントカウンティング法により測定した。これには、50cm四方に5cmメッシュで糸を張り100点の交点を作成した木枠(写真2)を用い、植生(植被率)、リター、礫(径2mm以上の鉱物)、細土の4区分で、交点の最も上部にある要素を目視判定し要素ごと

のポイント数を記録した(例えば、交点の細土の上にリターがあり、その上に生育する植物の葉があれば植生を 1 ポイントとする)。なお、植生の枝葉に溜まった雨水が雨滴となって地表部へ落下した際に、その衝撃で地表部の物質を移動させる可能性があるため、雨滴の衝撃の少ない地上高 30 cm 以下にある枝葉のみを植生の対象とした。

また、2015 年には調査区ごとに 10m の正方形を設定し、草本層(高さ 1m 以下の階層)の植生調査を行った。

調査は、湯ヶ島と精進川調査地は間伐を行う 1 年前の 2009 年から 2015 年まで、龍山調査地は間伐直後の 2007 年から 2015 年まで行った。また、湯ヶ島調査地ではシカの食害が顕著であったことから、植生を保護する目的で 2012 年 6 月に調査区 1 を囲むネット柵を設置した。

各調査地の得られた結果からは、間伐に伴う植生の変化と物質移動レートの経年変化について考察した。湯ヶ島調査地では各調査ポイントの植被率に変化が大きい一方で、地形に変化は乏しく、傾斜はほとんど一定であった(表 1)ため、林床被覆率と物質移動レートの関係についても考察した。なお、その際には一部の調査ポイントで植生の回復が認められた 2011 年以降の調査結果を使用した。

精進川調査地は間伐を縦方向の列状間伐とし、間伐した木は伐採列に沿って下方に搬出された。その搬出による土砂等の移動量への影響を把握し考察するために、調査ポイントは伐採列 9 箇所と残存列 11 箇所に設置した。

Ⅲ 結果 及 び 考 察

1 林床植生の変化と物質移動レート

湯ヶ島調査地の各物質の移動レートと林床被覆率の経年変化を図 2 に示す。林床植生の主な種について、2015 年の各調査区の草本層の被度が 1 以上の種とその被度について表 2 に示す。

調査開始当初に林床植生はほとんどなかったが、間伐後にその植率は上昇した。特にシカ柵を設置した調査区 1 において 2012 年以降植被率が 50% を超え、イワヒメワラビ、コバノイシガマといったシダ類が多く繁茂した。

礫とリターの移動レートは林床植生の植被率が高くなった 2013 年以降減少傾向にあった。細土の移動レートは植被率の高い 2013、2014 年に低い値を示したが、明瞭な傾向はなかった。また、細土の移動レートは 2011 年に非常に高い値を示したが、これは台風による極めて高い雨量強度があった(台風 15 号、日雨量 235 mm)ためと考えられた。

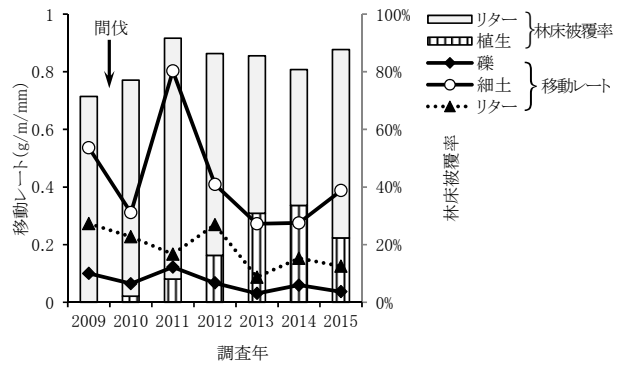


図 2 湯ヶ島調査地の平均林床被覆率と各物質の平均移動レートの推移

表 2 湯ヶ島と精進川調査地の草本層の主な植生

調査地	調査区	種(被度)
湯ヶ島	1	イワヒメワラビ(3)、ウラジロ(1)、コガクツヅギ(1)
	2	コバノイシガマ(1)、ヒノキ(1)
	3	コバノイシガマ(1)
	4	—
精進川	1	モミジイチゴ(3)
	2	モミジイチゴ(2)、マツカゼソウ(1)、ススキ(1)
	3	モミジイチゴ(2)、オオバチドメ(1)
	4	モミジイチゴ(2)、イワヒメワラビ(1)

- 1) 2015 年時点で被度が 1 以上の種を示す。
- 2) 龍山調査地は被度 1 以上の種はなかった。

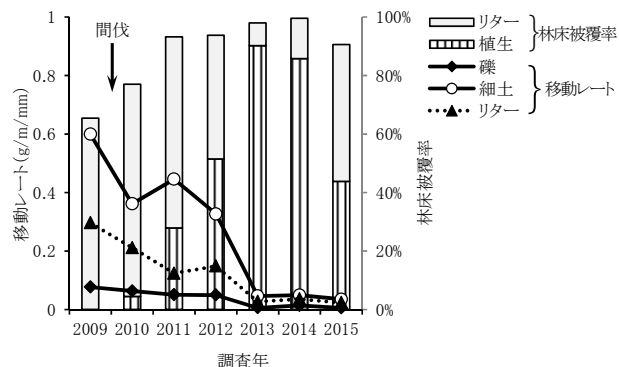


図 3 湯ヶ島調査地のシカ柵を設置した調査区 1 の平均林床被覆率と各物質の平均移動レートの推移

なお、シカ柵設置により林床植生の回復が著しかった調査区 1 では、植被率が上昇するとともに各物質とも移動レートの減少する傾向が明瞭であった(図 3)。

湯ヶ島調査地の林床植生の植被率と物質移動レートの関係について図 4 に示す。林床植生の植被率と各物質の移動レートにはそれぞれ負の相関が認められた(礫： $r=-0.24$, $p<0.05$, 細土： $r=-0.31$, $p<0.01$, リター： $r=-0.38$, $p<0.001$)。

林床植生の植被率とリターの被覆率をあわせた林床被覆率と各物質の移動レートの関係について図 5 に示す。林床被覆率に関しては、リター以外の礫と細土の移動レ

ートに相関関係が認められなかった(礫: $r=-0.06$, $p>0.05$, 細土: $r=-0.10$, $p>0.05$, リター: $r=-0.24$, $p<0.05$).

これらのことから、礫と細土、リターの移動レートは、林床植生の植被率が高くなることにより低下するが、リターを含めた林床被覆率とは少なくとも礫と細土は関係がないと考えられた。また、リターの移動レートは林床被覆率と負の相関があったが、林床被覆率にはリターの量が関与しているので、この結果だけでは両者の関係について考察することはできなかった。

なお、他の報告⁴⁾では、物質移動レートには林床植生だけでなく、リターを含む林床被覆も重要であることが指摘されている。本調査において、リターを含む林床被覆率が物質移動レートの減少に大きな影響がなかったのは、当調査地が、落葉が細かく分割してしまい土砂移動の抑止効果が低いといわれるヒノキの林^{3, 8)}であることが考えられた。また、下層植生も葉が細かく分裂しており、ヒノキ同様枯死後に細分化して土砂移動の抑止効果が低いと考えられるシダ類(イワヒメワラビ、コバノイシカグマ)の多い(表2)ことが原因である可能性があった。

龍山調査地の物質移動レートと林床被覆率の経年変化について図6に示す。龍山調査地は2008年に間伐が行われたが、シカやカモシカなどの食害により(痕跡を確認した)それ以降も林床植生の回復がほとんどなく、最も高くても植被率は6%(2012年)しかなかった。各物質の移動レートは、2014年を除いて大きな変化はなかった。2014年の特に礫の移動レートが高くなった理由は不明であったが、それ

以外大きな変化がなかったのは林床植生に変化がなかったからであると考えられた。

なお、林床植生の植被率が低い割に物質移動レートが湯ヶ島や後述する精進川調査地よりも全体的に小さい値を示したのは、龍山調査地の土壌が褐色森林土であるのに対し、それ以外の2調査地はより粒子が細かく移動しやすい黒ボク土壌であるためと考えられた。

これらのことから、ヒノキ人工林では土砂等の移動量と林床植生の植被率には負の相関関係があり、下層植生がほとんどない過密林では、強度の間伐により光環境が改善され林床植生が回復すれば、土砂等の移動が少なくなると考えられた。しかし、林床植生の回復がなければ、

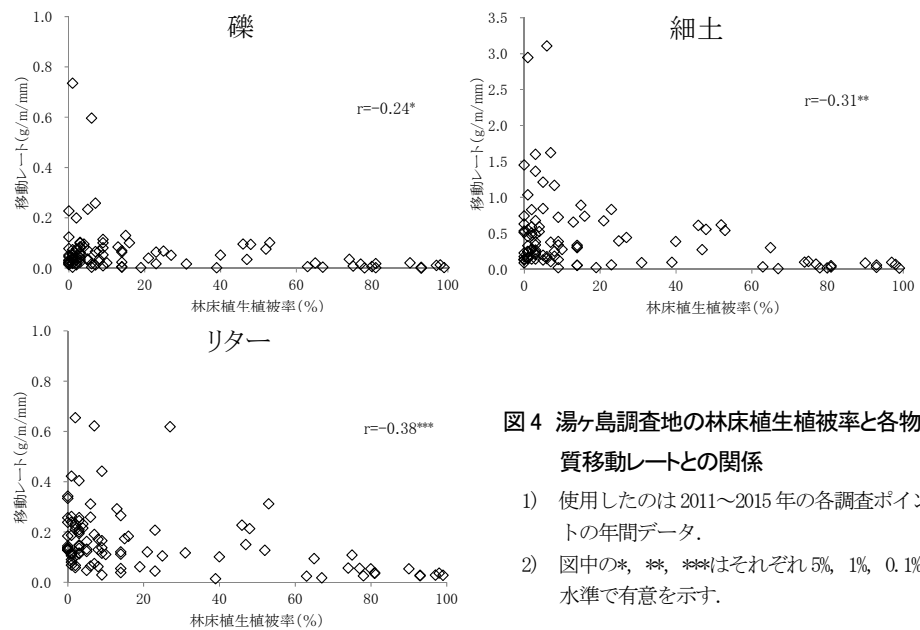


図4 湯ヶ島調査地の林床植生植被率と各物質移動レートとの関係

- 1) 使用したのは2011~2015年の各調査ポイントの年間データ。
- 2) 図中の*, **, ***はそれぞれ5%, 1%, 0.1%水準で有意を示す。

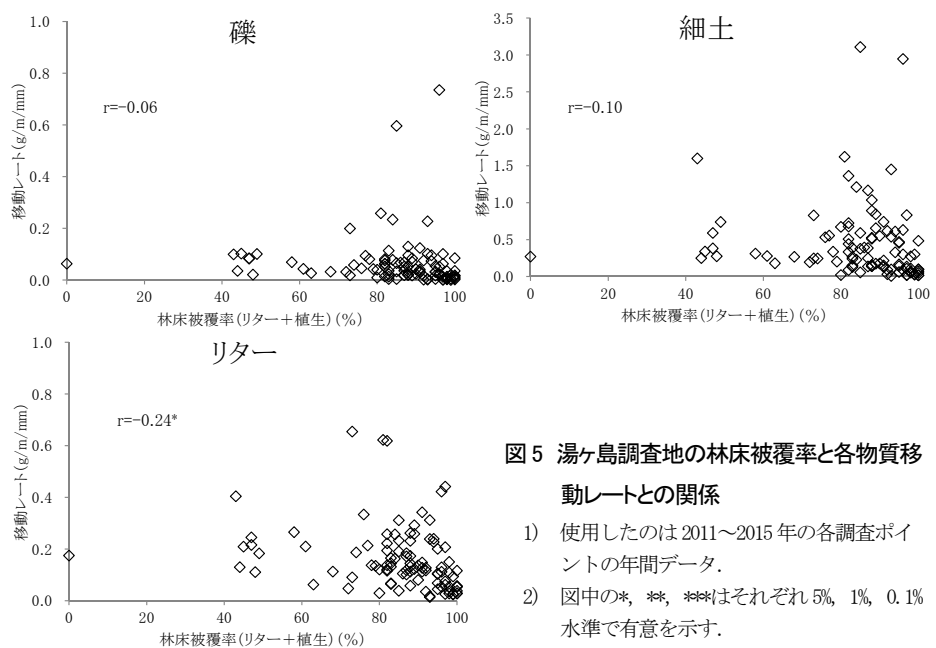


図5 湯ヶ島調査地の林床被覆率と各物質移動レートとの関係

- 1) 使用したのは2011~2015年の各調査ポイントの年間データ。
- 2) 図中の*, **, ***はそれぞれ5%, 1%, 0.1%水準で有意を示す。

強度の間伐に土砂等の移動に対する抑止効果はないと考えられた。

2 伐採・搬出作業による攪乱の影響

精進川調査地の各物質の移動レートと林床植生の植被率を伐採列と残存列に分け、その経年変化を図7に示す。

間伐前の2009年は伐採列となる調査ポイントと残存列となる調査ポイントの各物質移動レートで差はなかった(Mann-WhitneyのU検定、礫と細土、リターとも $p>0.05$)。しかし、間伐直後の2010年には特に伐採列の細土で移動レートが急増した(同、 $p<0.01$)。細土ほどではないが礫やリターも伐採列で残存列より移動レートが増加した(同、礫とリターとも $p<0.05$)。この年はまだ林床植生がほとんどない状況だったので、伐採列で物質移動レートが増加したのはヒノキの伐採・搬出に伴う地表の攪乱によるものと考えられた。

間伐後2年が経過した2011年も伐採列の細土の移動レートの値は高かったが、残存列との有意差はなかった(Mann-WhitneyのU検定、 $p>0.05$)。2012年にはどの物質移動レートも低い値を示し、伐採列と残存列で差はなかった(同、礫と細土、リターとも $p>0.05$)。伐採列は光環境が残存列よりも良く、モミジイチゴを主とした(表2)林床植生が残存列よりも回復していた。伐採列の各物質移動レートの速やかな低下にはこの林床植生の早期の回復が影響していると考えられた。

なお、湯ヶ島調査地は横方向の列状間伐を行い、伐倒木は搬出されることはなくそのまま横方向(等高線方向)に集積して置かれた(表1)。このため、地表の攪乱が少なく済んだ結果、精進川調査地のように、間伐直後に土砂やリターの移動レートが急増することがなかったものと考えられた。また、これには横方向に置かれた間伐材が土留め用の柵工の役割²⁾をした可能性も考えられた。

IV 摘要

静岡県内の3箇所の林床植生のほとんどない過密人工林で強度の間伐を行い、それに伴う土砂等の移動量を土砂受け箱法でそれぞれ7~9年間調査した。また、林床を覆う植生やリターの被覆率も調べ、間伐に伴う両者の関係について考察した。その結果、林床植生の植被率と礫や細土、リターの移動レートには負の相関が認められた。また、間伐によって林床植生が回復していくとともに土砂等の移動レートが減少していく傾向があった。しかし、シカなどの食害により林床植生が回復しない過密人工林では、強度の間伐に土砂等の移動に対する抑止効果はないと考えられた。また、縦方向の間伐をして伐採木を搬

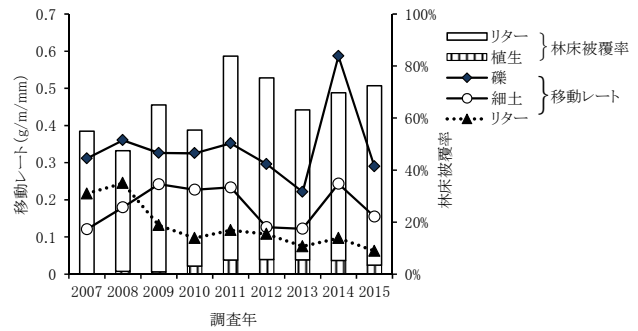


図6 龍山調査地の平均林床被覆率と各物質の平均移動レートの推移

- 1) 強度の間伐は2006年末に実施した。

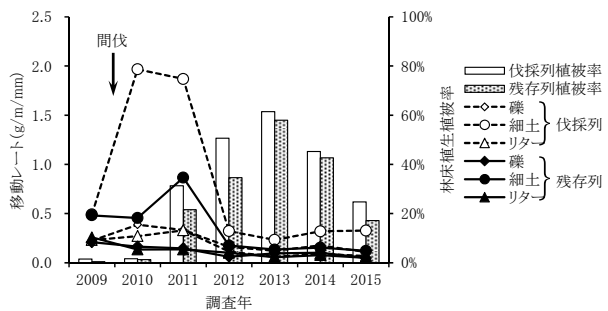


図7 精進川調査地の伐採列(9箇所)と残存列(11箇所)の林床植生平均植被率と各物質の平均移動レートの推移

出する場合、伐採列は伐採・搬出に伴う地表の攪乱を受け土砂等の移動レートは上昇すると考えられた。しかし、伐採列は林床植生の回復が早く、土砂等の移動レートも速やかに減少した。

引用文献

- 1) 平井敬三・岩川雄幸・吉田桂子・酒井正治・井上輝一郎(1992): 複層林施業初期段階における表層土壌の移動。日本林学会関西支部大会講演集1, 91~94.
- 2) 今泉文寿・上治雄介(2012): 山岳域人工林内での土砂移動と間伐材を利用したその抑止手法。日森林誌 94(1), 24~30.
- 3) 片桐成夫・石井弘・有光一登・上田晋之助・赤井龍男・葉師寺清雄(1982): 人工降雨によるヒノキ林内の落葉・土壌等の流出移動について(VIII)スギ・ヒノキ林の土壌の諸特性と移動物質の化学的特性。日林論集 93, 351~353.
- 4) Miura, S. Yoshinaga, S. Yamada, T.(2003): Protective effect of floor cover against soil erosion on steep slopes forested with *Chamaecyparis obtuse* and other species. J. For. Res. 8(1), 27~35.

-
- 5) 村井宏・岩崎勇作(1978) : 林地の水および土壌保全機能に関する研究. 日林論 89, 7~9.
 - 6) 中森由美子・瀧井忠人・三浦寛(2012) : 急傾斜ヒノキ人工林における伐採方法の違いによる細土, 土砂, リター移動量の変化. 日森林誌 94(3), 120~126.
 - 7) 大原偉樹(2007) : スギ人工林の間伐にともなう林床植生と土壌保全機能に関する研究の必要性. 森林総研研報 403, 127~134.
 - 8) 酒井正治・井上輝一郎・岩川雄幸(1987) : 粗大有機物の土壌への混入量(Ⅲ)斜面位置の違いによるヒノキ葉混入量. 日林論 98, 193~196.
 - 9) 杉本純佑・鈴木保志・後藤純一(2011) : 列状間伐実施後のスギ人工林における土砂移動量と下層植生現存量. 森林利用学会誌 26(2), 105~110.