

長野県木曾地方三浦実験林におけるヒノキ天然更新に 微地形と土壌が及ぼす影響

信州大学農学部 森林科学科 4年 もりもと 森本 そういちろう 壮一郎

要旨

木曾地方の天然ヒノキ更新木の林分内分布の不均一性に及ぼす微地形と土壌の影響を明らかにするため、目的変数にヒノキ更新木密度、説明変数に土壌要因と微地形要因を用いた重回帰分析を行いました。その結果、ヒノキ更新木密度に対し微地形要因である傾斜角度と凹凸度指数が正の影響を及ぼしていました。また、土壌要因は比較的大きなプロット内変動を示しましたが、説明変数に追加する効果は小さいことがわかりました。

はじめに

長野県木曾地方の木曾ヒノキはわが国における代表的な銘木であり、伊勢神宮の式年遷宮に用いられるなど天然林資源として高い価値があることが知られています。木曾地方のヒノキ天然林は、木材需要に応えるため伐採が進んだことに加え、1959年の伊勢湾台風と1961年の第2室戸台風により大きな風倒被害を受け、資源量が大きく減少しました。このため、天然ヒノキ資源量の迅速な回復が強く求められました。しかし、木曾ヒノキ天然林が広く分布する高標高地では、寒冷多湿な環境により湿性ポドゾル土壌が分布していることに加え、林床をササが密に覆っていたことから天然更新が困難であったため、天然ヒノキ林の回復が進みませんでした。これを受けて、天然更新困難地における天然更新技術の開発を目的とし、実験林が1966年に長野県営林局王滝営林署管内三浦国有林内に設定され、これまでヒノキの天然更新施業の確立に向けて様々な天然更新施業方法の検討や研究が行われてきました（中部森林管理局 1999）。

三浦実験林における既存の調査により、ヒノキの実生発生には地床において一定の明るさが必要であること、実生の定着には地床において一定の明るさや、適度な厚さのA₀層が必要であることが明らかにされています。また、三浦実験林では林床を密に覆っているササが、ヒノキ実生の発生・定着の大きな阻害要因となっています（赤井・浅田 1967）、除草剤によりササを抑制することで上記の地床環境を調整することに成功しています（森澤ら 2010;中部森林管理局 1999）。その一方で、ササ除去後にヒノキが更新しても、同一施業林分内で更新木の分布に不均一性があることが確認されています（中部森林管理局 1999）。しかし、その不均一性が生じる要因について十分な検討はされていません。

更に、ヒノキの天然更新に影響を及ぼす立地環境要因として土壌と地形が考えられます。土壌については、厚いA₀層が種子の生存の阻害要因となること（山本・堤 1984）、当年生実生に対しても乾燥害を与え死亡要因となること（山本・堤 1980）が報告されています。一方、A₀層を除去すると当年生稚樹が雨滴害により死亡する確率が高まること（山本・堤 1980）、同様にA₀層が少なく、かつA層が浅いところでは雨による稚樹の倒伏、埋没、流出の害が多くなること（田中・竹岡 1975）が報告されています。

地形については斜面傾斜が影響し、平坦地に比べ、30~40°の傾斜地では実生の発生が少ないこと（赤井 1975）、稚樹の定着に緩斜地は有利であること（赤井 1978）、10°以下の緩斜面では更新の

可能性が大きく、傾斜が急になるにともなって更新の可能性は小さくなること（松崎・河原 2006）が報告されています。

しかし、湿性ポドゾル土壌におけるヒノキの天然更新に関して土壌と地形を合わせた要因を扱った例はありません。以上を受け、本研究では土壌と微地形がヒノキ天然更新に及ぼす影響に着目し、まず両者の関係を明らかにし、その上でそれらが同一施業林内における更新基質別のヒノキ天然更新木の分布の不均一性に与える影響を明らかにすることで、木曽地方の天然ヒノキ更新技術確立に向けた知見を得ることを目的としました。

1 調査地の概要

調査は長野県木曽郡王滝村の中部森林管理局木曽森林管理署管内三浦国有林で行われました（図 1）。調査地は三浦実験林 2628 林班り小班内に設定されている幅 4m、長さ約 100m のプロットとしました（図 2）。プロットは西向き斜面に位置し、標高はおよそ 1490m から 1510m です。プロット内には沢が 3 本横断しており、それぞれプロット始点から 20m、40m、98m 付近に位置しています。調査地内の地質は石英斑岩です。

調査地を含む 2628 林班り小班ではササの抑制を取り入れた漸伐天然更新試験地です。その試験施業履歴は以下の通りです。1969 年度、種子の結実も良く、林冠も多少疎開していたことから最初に材積率で 50% の下種伐が行われ、その伐採直前に除草剤である塩素酸塩剤が空中散布（300kg/ha）されました。その後、ササの成長抑制剤であるテトラピオン粒剤が 1980 年度（筋状散布）と 1982 年度（全面散布）に散布されました。1986 年時のベルトプロット内のヒノキの毎木調査により、更新完了が確認されました。1991 年度に後伐によって全ての上層ヒノキが伐採搬出されました。2010 年時に行われたヒノキの更新木調査によってササ丈約 2m 以上のヒノキ更新木が約 8,000 本/ha で確認されました。

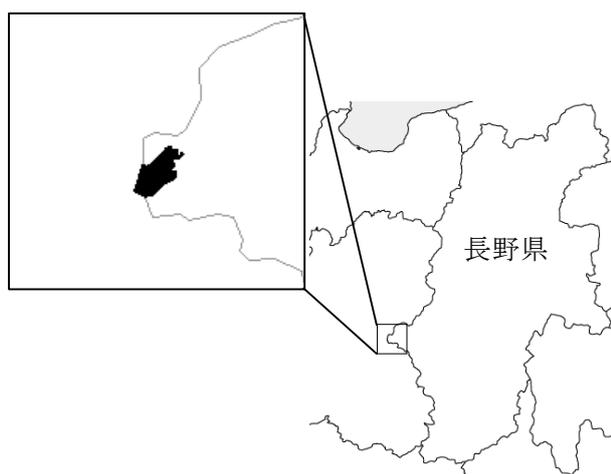


図 1 三浦実験林位置図

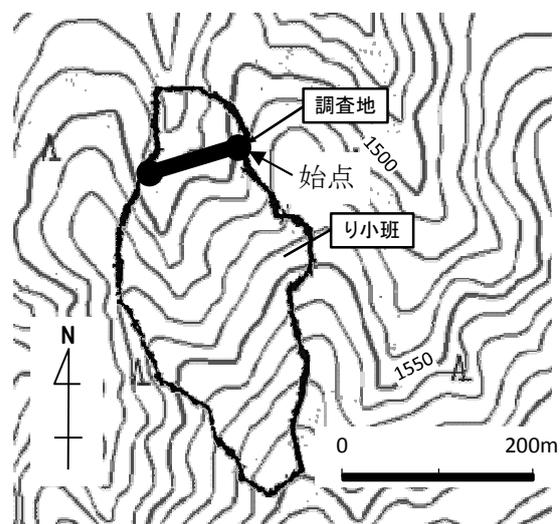


図 2 調査地の位置

地形図は 1:25000 の縮尺のものを用いた

2 調査方法及び解析方法

(1) 地形測量

プロット内の微地形の変化を明らかにするため、2m ポールと水準器を用いてプロット中心線上 1m

毎に高低差の計測を行いました。

(2) 土壌調査

プロットの土壌の特性を短いスケールで捉えるため、プロット始点から 2m 毎に 50 地点で幅 20cm~30cm 程度の大きさの土壌断面を作成し、A₀層、A層（土壌表面から溶脱層まで）それぞれの厚さを計測しました。合わせて、溶脱層の発達程度を観察し、土壌型の判定を行いました。

50 地点における土壌断面調査から、湿性鉄型ポドゾル亜群の湿性鉄型ポドゾル（以下、Pw(i) I）と湿性鉄型ポドゾル化土壌（以下、Pw(i) II）が分布していたことを踏まえ、土壌型毎の特性を明らかにするため、Pw(i) I が出現した 10m 地点と Pw(i) II が出現した 65m 地点の 2 地点において、幅 80cm 程度の土壌断面を作成し、土壌断面調査を行いました。土壌型の判定及び土壌断面の記載は河田・小島（1976）に従いました。また、土壌硬度は山中式土壌硬度計を用いて計測しました。

(3) 土壌物理性の分析

それぞれの土壌型の土壌物理性を解析するため、A層からB層までの各層位から 100ml 採土円筒管を用いた非攪乱試料を採取しました。試料について、電子天秤を用いて採取時の重量を測った後、下部を水に浸して約 48 時間放置し、試料を飽水させました。その後、透水試験装置を用いて透水速度の測定を行い、定水位飽和透水係数を算出しました。その後、試料を 105℃で 48 時間乾燥させ、乾燥試料重量を計測した後、礫と根その他有機物を取り出し、礫は 105℃、根その他有機物は 75℃で 24 時間乾燥させ、それぞれの乾燥重量を計測しました。得られたデータから容積重、全孔隙量を算出しました。なお、全孔隙量は全容積に対する表示で示しました。

(4) 解析方法

解析の対象となるヒノキの分布データは 2009 年から 2010 年にかけて同プロットで行われた樹高 0.5m 以上のヒノキを対象とした毎木調査のデータから得ました（図 3A）。

土壌に及ぼす微地形の影響を明らかにするため、目的変数に土壌要因として A₀層厚と A層厚を、説明変数に微地形要因として凹凸度指数と傾斜角度を用いて AIC を基準とする変数増減法による重回帰分析を行いました。

ヒノキ更新木の分布の疎密に及ぼす土壌と微地形の影響を明らかにするため、目的変数にプロットを縦断方向に 2m 毎に区切った時の各区間におけるヒノキ更新木密度を、説明変数に土壌要因を用いた場合と、微地形要因を用いた場合と、土壌要因と微地形要因を合わせて用いた場合で AIC を基準とする変数増減法による重回帰分析を行いました。また、3つのモデル式を決定係数と AIC の値に基づき比較しました。

ここで、凹凸度指数は、区間の始点と終点を直線で繋いだ線より凸側あるいは凹側の部分の断面積を、凸側をプラス、凹側をマイナスの値として 1m 毎に算出し、区間の断面積の合計値を区間の斜距離の 2 乗で除すことによって基準化しました。凹凸度指数はプラスの値であれば凸型地形を、マイナスの値であれば凹型地形を表し、その絶対値が大きいほど、凸あるいは凹の程度が強くなることを示します。凹凸度指数と傾斜角度は、図のヒノキ更新木分布の疎密の幅を考慮し、6m、10m、14m の 3 つの異なる区間長さを用いました。なお、区間傾斜度と区間凹凸度指数については、異なる区間長の間で相関が認められたため、重回帰分析においてはこれらを併用することはできませんでした。そこ

で3種類の区間傾斜角度と3種類の区間凹凸度指数を組み合わせた9通りの微地形要因を解析に用い、AICによる比較を行った上で最適なものを選択しました。

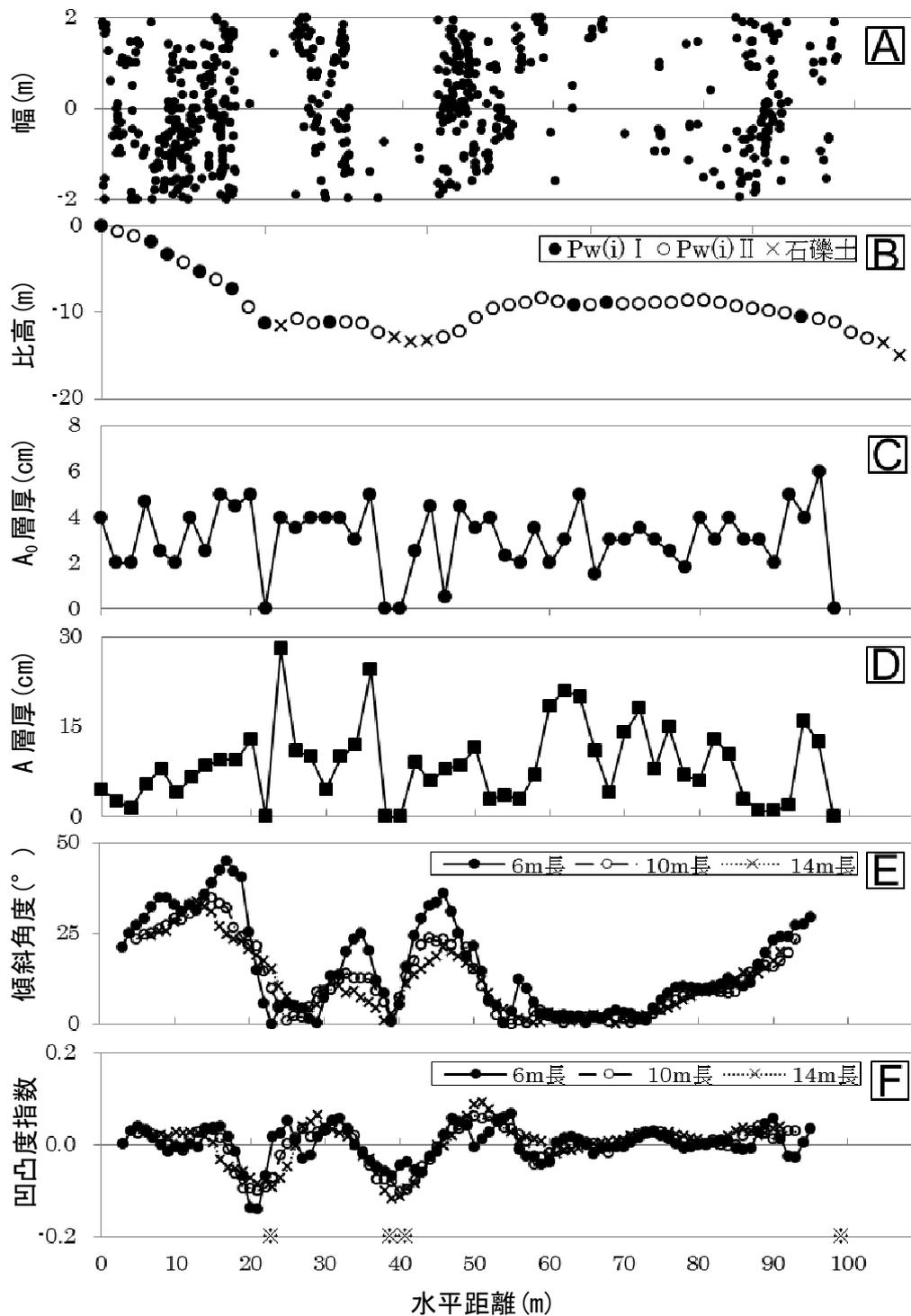


図3 ヒノキ更新木分布図と地形縦断面図及び土壌型分布図と各種パラメータの折れ線グラフ

アスタリスク(*)はプロットを横断している流路の位置を示す。

3 結果

(1) 土壌調査結果と土壌物理性分析結果

図 3B に土壤断面調査の結果を示します。プロット内には谷底部で石礫土が現れ、それ以外では Pw(i) I と Pw(i) II が混在していました。プロットの 0m から 20m 付近の急傾斜地では Pw(i) I と Pw(i) II が交互に分布していました。また、50m 付近から 80m 付近の緩傾斜地では大半が Pw(i) II であるものの Pw(i) I が局所的に認められました。

図 3C および D に各地点における土壤各層の厚さを計測した結果を示します。A₀層は 0~6cm の範囲で、A 層は 0~28cm の範囲で細かく変動していました。表 1 に Pw(i) I と Pw(i) II の各層厚の平均値を示します。土壤型間で各層厚を比較した結果 (t-検定, 5%水準), A 層では違いが認められませんでした。A₀層では Pw(i) II よりも Pw(i) I で厚いことが示されました。

表 2 および 3 に Pw(i) I が出現した 10m 地点と Pw(i) II が出現した 65m 地点における土壤断面調査の結果を示します。Pw(i) I は、L 層が 1cm, F+H 層が 1.5cm, A 層が 22cm, 溶脱層が 12cm あり、B 層上部に鉄の集積層が現れました。Pw(i) II は、L 層が 3cm, F+H 層が 2cm, A 層が 3.5cm, 弱度の溶脱層が 28cm あり、溶脱層以下の礫表面に鉄の集積斑が現れました。どちらも礫は溶脱層以下に現れ、孔隙は A 層にのみ現れました。また、どちらも A 層上部に団粒状構造がみられました。草本、木本含む根の分布はどちらも A 層で多く、溶脱層以下で少なくなる傾向を示しました。土性は Pw(i) I では全層で埴質壤土でしたが、Pw(i) II では A 層で微砂質壤土、溶脱層以下で埴質壤土でした。

表 1 土壤型別の各層の厚さに関する t 検定の結果

土壤各層	平均層厚(cm)		t値	p値	
	Pw(i) I	Pw(i) II			
A ₀ 層	3.87±0.87	3.11±1.09	2.027	0.049	*
A層	8.80±5.17	9.09±6.22	-0.133	0.895	n.s.

*:p<0.05, **:p<0.01, ***:p<0.001, n.s.:p>0.05

表 2 10m 地点における Pw(i) I の土壤断面調査結果

層位	層位厚さ	推移状態	色	腐植	石礫	土性	構造	孔隙	水湿状態	根
A1	0~17	明	10YR3/4	含む	なし	埴質壤土	団粒状構造	小含む	潤	多
A2	17~22	明	10YR3/2	富む	なし	埴質壤土	なし	なし	湿	あり
A3(溶脱層)	22~34	明	10YR6/3	乏し	半角礫	埴質壤土	なし	なし	湿	まれ
B1	34~37	明	5YR5/6	乏し	なし	—	なし	なし	—	あり
B2	37~50	明	7.5YR5/4	乏し	角礫	埴質壤土	かべ状構造	なし	潤	まれ
B-C	50~	判	10YR6/6	乏し	角礫	—	なし	なし	潤	まれ

表 3 65m 地点における Pw(i) II の土壤断面調査結果

層位	層位厚さ	推移状態	色	腐植	石礫	土性	構造	孔隙	水湿状態	根
A1	0~3.5	明	7.5YR2/2	すこぶる富む	なし	微砂質壤土	団粒状構造	大中小あり	潤	多
A2(溶脱層)	3.5~31.5	判	10YR4/4	含む	半角礫	埴質壤土	なし	なし	湿	あり
B	31.5~42	明	10YR5/6	乏し	半角礫	埴質壤土	なし	なし	湿	あり
B-C	42~	明	10YR5/6	乏し	角礫	—	なし	なし	湿	まれ

表 4 に土壤物理性分析結果を示します。分析の結果、Pw(i) I と Pw(i) II 間で明瞭な差は認められませんでした。また、Pw(i) I, Pw(i) II とともに、共通した結果として次のことがわかりました。まず、容積重は A 層が溶脱層以下に比べ小さい値を示しました。次に、全孔隙量は A 層が溶脱層以下に比べ大きい比率を示しました。また、透水係数は A 層で -1 乗と高い透水性を示し、溶脱層以下では -4 ~ -5 乗と極めて低い透水性を示しました。なお、山中式土壤硬度計を用いて計測した土壤硬度は溶脱層以下よりも A 層でより小さな値を示しました。

表 4 Pw(i) I 及び Pw(i) II の土壤物理性分析結果

層位	土壤型	深さ (cm)	容積重 (g/100ml)	全孔隙量 (%)	透水係数 (ml/cm ² ・sec)	土壤硬度 (mm)
A1	Pw(i) I	0~5	30	84	2.3×10^{-1}	8~10
	Pw(i) II	0~5	27	87	1.1×10^{-1}	5~9
溶脱層	Pw(i) I	23~28	102	60	4.7×10^{-5}	13~15
	Pw(i) II	10~15	88	65	1.7×10^{-4}	15
B [※]	Pw(i) I	42~47	96	60	2.4×10^{-5}	14~15
	Pw(i) II	30~35	89	60	8.3×10^{-5}	14~16

※Pw(i) I は B2 層の値を示す。

(2) 土壤に及ぼす微地形の影響

図 3E および F に解析に用いた各区間長さの各地点における傾斜角度と凹凸度指数を示します。凹凸度指数は区間長さ 6m で約 -0.14~0.07, 区間長さ 10m で約 -0.10~0.06, 区間長さ 14m で約 -0.12~0.09 の値を示しました。傾斜角度は区間長さ 6m で約 0~45°, 区間長さ 10m で約 0~35°, 区間長さ 14m で約 0~34° の値を示しました。傾斜角度, 凹凸度指数とともに, 各区間長さで比較的小さな変動は異なっていました, 大きな変動は一致していました。

表 5 および 6 に目的変数に土壤各層厚, 説明変数に微地形要因を用いた重回帰分析の結果を示します。A₀ 層厚を説明するのに微地形要因の変数は選択されませんでした。一方で, A 層厚を説明するのに最も有効な変数の組合せとして区間長さ 14m の凹凸度指数と区間長さ 6m の傾斜角度が選択され, A 層厚に対し, 負の影響を及ぼしていました。

表 5 目的変数に A₀ 層厚を用いた重回帰分析の結果

	係数	標準誤差	標準化 回帰係数	t値
切片	3.293	0.168	—	19.630 ***

R²=-0.040, n=35, F=0.286, P=0.753, AIC=8.49

*:p<0.05, **:p<0.01, ***:p<0.001, n.s.:p>0.05

表 6 目的変数に A 層厚を用いた重回帰分析の結果

	係数	標準誤差	標準化 回帰係数	t値
切片	12.88	1.265		10.186 ***
区間傾斜角度(6m長)	-0.181	0.062	-0.419	-2.91 **
区間凹凸度指数(14m長)	-83.208	20.978	-0.553	-3.966 ***

R²=0.328, n=35, F=10.01, P<0.001, AIC=122.36

*:p<0.05, **:p<0.01, ***:p<0.001, n.s.:p>0.05

(3) ヒノキ更新木密度に及ぼす微地形と土壤の影響

ヒノキの個体数密度を目的変数とする重回帰分析について、説明変数に土壌要因を用いた場合（表 7）、微地形要因を用いた場合（表 8）、土壌要因と微地形要因を合わせて用いた場合（表 9）の結果を示しました。説明変数に土壌要因を用いた場合、A 層厚が有効な変数として選択され、ヒノキ更新木密度に対し負の影響を及ぼしていました。説明変数に微地形要因を用いた場合、最も有効な変数の組合せとして区間長さ 14m の凹凸度指数と区間長さ 10m の傾斜角度が選択され、それぞれヒノキ更新木密度に対して正の影響を及ぼしていました。説明変数に土壌要因と微地形要因を用いた場合は微地形要因の区間長さ 6m の凹凸度指数と区間長さ 14m の傾斜角度が最も有効な変数の組合せとして選択され、それぞれヒノキ更新木密度に対して正の影響を及ぼしていました。一方で、土壌要因の A₀ 層厚は変数として選択されず、A 層厚は変数に選択されましたが有効な変数ではありませんでした。

3 つのモデル式の決定係数 R² と AIC を比較した結果、説明変数に微地形要因を用いたモデル式の精度が高くなり、その内、土壌要因と微地形要因を用いたモデル式の精度が最も高くなりました。また、土壌要因を用いたモデル式間で AIC は 20 以上の差がありましたが、微地形要因を用いたモデル式間では AIC の差は 0.04 でした。このことから変数に土壌要因を追加することの効果は小さいことがわかりました。

表 7 説明変数に土壌要因を用いた重回帰分析の結果

	係数	標準誤差	標準化 回帰係数	t値
切片	2.817	0.479		5.880 ***
A層厚	-0.113	0.044	-0.350	-2.562 *

R²=0.117, n=41, F=6.562, P=0.014, AIC=47.91
*:p<0.05, **:p<0.01, ***:p<0.001, n.s.:p>0.05

表 8 説明変数に微地形要因を用いた重回帰分析の結果

	係数	標準誤差	標準化 回帰係数	t値
切片	0.178	0.318		0.560 n.s.
区間傾斜角度(10m長)	0.130	0.020	0.721	6.578 ***
区間凹凸度指数(14m長)	18.253	5.368	0.362	3.400 **

R²=0.564, n=35, F=24.92, P<0.001, AIC=20.08
*:p<0.05, **:p<0.01, ***:p<0.001, n.s.:p>0.05

表 9 説明変数に土壌要因と微地形要因を用いた重回帰分析の結果

	係数	標準誤差	標準化 回帰係数	t値
切片	0.947	0.517		1.830 n.s.
A層厚	-0.061	0.035	-0.189	-1.732 n.s.
区間傾斜角度(14m長)	0.123	0.022	0.610	5.629 ***
区間凹凸度指数(6m長)	19.944	5.486	0.373	3.635 ***

R²=0.599, n=35, F=19.45, P<0.001, AIC=20.04
*:p<0.05, **:p<0.01, ***:p<0.001, n.s.:p>0.05

(1) 湿性鉄型ポドゾル土壌の分布

三浦実験林で行われた湿性ポドゾルに関する研究により、連続的に変化する微地形に対応して土壌型が推移することが示されています（小林 1989）。この調査では 10m 単位での解析が行われていますが、今回の 2m 単位での土壌調査結果からは Pw(i) I と Pw(i) II が近接して混在していました。最初の斜面部で Pw(i) I が多く分布し、それ以降では Pw(i) II の出現頻度が高くなりましたが、Pw(i) I と Pw(i) II の出現に地形的な因果関係は認められませんでした。したがって、Pw(i) I と Pw(i) II の出現には広いスケールでの推移があるとしても、その中では不連続性を伴っているケースがあることが明らかになりました。

湿性ポドゾル土壌は一般に F 層、H 層が厚く、A 層が薄いことが知られていますが、立地環境によってその厚さは異なります（小林 1989）。湿性ポドゾルに関する研究における A₀ 層厚、A 層厚のデータを表 10 にまとめました。本研究では、A₀ 層は 0.5~5.0cm、A 層は 1.0~28.0cm の範囲の値を示し、平均値は A₀ 層で 3.28cm、A 層で 9.02cm の値をそれぞれ示しました。異なる林分間で調査を行っている赤井・浅田（1967）、竹原ら（1957）、小林（1989）の内、A₀ 層が 1.0~11.0cm、A 層が 5.0~35.0cm と最も層厚の変動幅の大きい赤井・浅田（1967）と比較すると、本調査地においても各層の厚さがそれに近い変動幅を有していることが明らかになりました。このことから、同一林分内においても各層厚に関して林分間の変動に近い変動が得られることが考えられます。

表 10 他研究における湿性ポドゾル土壌の A₀ 層及び A 層の厚さ

	赤井・浅田(1967)	平山ら(1988)	小林(1989)	竹原ら(1957)	竹島ら(1986)
A ₀ 層厚(cm)	1.0~11.0	15.0	1.8~7.6	3.0~5.0(L層含めず)	10.0(L層のみ)
A層厚(cm)	5.0~35.0	12.0(H-A層含む)	7.0~33.8	3.0~12.0	8.0(H-(A)層)

(2) ヒノキ天然更新に微地形と土壌が及ぼす影響

重回帰分析の結果、A 層厚を説明するのに最も有効な変数の組合せとして区間長さ 14m の凹凸度指数と区間長さ 6m の傾斜角度が選択され、凸型地形で傾斜角度が大きいほど A 層が薄く、凹型地形で傾斜角度が小さいほど A 層が厚いことがわかりました。土砂移動等の物理的な現象によりこのような結果になったと考えられます。

重回帰分析の結果、ヒノキ更新木密度に対し、土壌要因を用いた場合は A 層厚が、微地形要因を用いた場合は区間長さ 10m の傾斜角度と区間長さ 14m の凹凸度指数が、土壌要因と微地形要因を用いた場合は区間長さ 14m の傾斜角度と区間長さ 6m の凹凸度指数が有効な変数として選択されました。また、A 層厚と微地形要因の間に負の関係が認められたことから、A 層厚とヒノキ更新木密度の関係は見かけの相関である可能性が考えられました。また、AIC の値の比較によって、変数に土壌要因を追加する効果は小さいことがわかりました。このことから本調査地におけるヒノキ天然更新には土壌要因よりも微地形が強く影響を及ぼしていること、すなわちヒノキ更新木の不均一な分布は微地形の変動に応じて生じていることが明らかにされました。このことは、より小さなスケールにおけるヒノキの更新適地の判断基準として、微地形情報が活用できる可能性を示しています。

モミ（近藤ら 2006）およびトドマツ（保坂ら 2008）の天然更新木密度に対し、傾斜角度が正の効果を示すことが報告されており、本研究の結果と一致しています。しかしながら、ヒノキの天然更新更新木に対し傾斜角度が負の効果を与えるという報告（赤井 1975;松崎・河原 2006）とは矛盾しています。ただし、これらのヒノキに関する結果は褐色森林土（赤井 1975;松崎・河原 2006）や黒色

土（松崎・河原 2006）といった異なる土壌群で行われたものであり、さらに本研究とは調査スケールも異なっています。今後の課題として、微地形に対するヒノキ更新の応答性のメカニズムを解明するとともに、ヒノキに関する従来の研究結果と本研究結果が異なる原因を明らかにする必要があります。

おわりに

本研究で本調査地における天然ヒノキ更新木密度に対し、微地形要因である斜面傾斜角度と凹凸度指数が正の影響を及ぼすことが明らかになりました。また、A層厚など土壌要因は既存報告による林分間変動と同等の変動が認められましたが、ヒノキ更新木密度に及ぼす影響は微地形要因に比べて小さいものと位置づけられました。以上の結果から、同じ林班内で観察されるヒノキ更新木の不均一な分布は微地形の変動に応じて生じていると考えられ、より小さなスケールでの更新適地の判別に役立つと考えられました。しかしながら、A層厚と傾斜角度の影響に関する本研究の結果は既存の報告と異なっており、今後、その原因について明らかにすることが課題となります。

参考文献

- 赤井龍男（1975）天然更新に関する研究（Ⅲ）尾鷲地方におけるヒノキ林の更新．京都大学農学部演習林報告 47：34-47
- 赤井龍男（1978）天然更新に関する研究（Ⅳ）近畿，中国地方における各種ヒノキ林の更新．京都大学農学部演習林報告 50：44-57
- 赤井龍男・浅田節夫（1967）天然更新に関する研究（Ⅰ）木曾地方湿性ポドゾル地帯におけるヒノキ属の更新．京都大学農学部演習林報告 39：35-63
- 中部森林管理局（1999）三浦実験林 30年のあゆみ—木曾ヒノキ更新技術確立への挑戦とその成果—．中部森林管理局，長野．264pp.
- 平山良治・有光一登・大角泰夫（1988）ポドゾル性土壌に関する実験土壌学的試み（Ⅰ）乾性ポドゾルと湿性鉄型ポドゾルについて．筑波実験植物園研究報告 7：121-135
- 保坂太郎・尾張敏章・後藤晋（2008）北海道中央部の択伐天然林におけるトドマツ実生，稚樹，幼樹の分布と立地環境の関係．日本森林学会誌 90：357-363
- 河田弘・小島俊郎（1976）生態学研究法講座 30 環境測定法Ⅳ—森林土壌—．共立出版株式会社，東京．166pp.
- 近藤美由紀・吉田茂二郎・溝上展也・村上拓彦（2006）霧島山系のヒノキ人工林林床におけるモミ稚樹密度の規定要因．九州森林研究 59：289-291
- 小林繁男（1989）森林土壌の諸性質及び植生に及ぼす微地形の役割に関する方法論的研究．京都大学大学院学位論文 89pp
- 松崎誠司・河原輝彦（2006）ヒノキ人工林における天然更新施業の可能性—多変量解析に基づく適地診断ソフトの作成—．東京農業大学農学集報 51：1-7
- 森澤猛・杉田久志・橋本良二・赤井龍男（2010）空中写真から解析した木曾地方三浦実験林のヒノキ帯状皆伐天然更新試験地におけるササおよび更新木樹冠被覆の36年間の変遷．日本森林学会誌 92：22-28
- 竹原秀雄・久保哲茂・細川一信（1957）木曾地方における石英斑岩に由来する Podzol 化土壌について

て. 日本林學會誌 39 : 419-426

竹島征二・福田栄一・岩崎毅 (1986) 湿性ポドゾル土壤の透水による主要成分の溶脱について. 日本土壤肥料學雜誌 57 : 64-69

田中貞雄・竹岡政治 (1975) ヒノキ天然更新の基礎試験 I 稚樹の発生および消失. 京都府立大學學術報告. 農學 27 : 59-66

山本進一・堤利夫 (1980) ヒノキ人工林における天然生ヒノキ稚樹の個体群動態 (II) 当年生稚樹の死亡要因. 日本林學會誌 62 : 343-349

山本進一・堤利夫 (1984) ヒノキ人工林における天然生ヒノキ稚樹の個体群動態 (III) 林床における種子個体群の動態. 日本林學會誌 66 : 483-490