

気象害跡地林分における広葉樹の混交と スギ人工林としての評価

相浦 英春・中島 春樹・嘉戸 昭夫

Regeneration of broad-leaved trees and evaluation as plantations for wood production in
weather-damaged Sugi (*Cryptomeria japonica*) stands

Hideharu AIURA, Haruki NAKAJIMA, Akio KATO

富山県農林水産総合技術センター
森林研究所研究報告

No.9 平成29年3月31日 発行

Reprinted from

BULLETIN

OF

THE TOYAMA FORESTRY RESEARCH INSTITUTE

No.9 2017.3

気象害跡地林分における広葉樹の混交とスギ人工林としての評価

相浦 英春*¹・中島 春樹*¹・嘉戸 昭夫*²

Regeneration of broad-leaved trees and evaluation as plantations for wood production in weather-damaged Sugi (*Cryptomeria japonica*) stands

Hideharu AIURA*¹, Haruki NAKAJIMA*¹, Akio KATO*²

富山県北西部の冠雪害及び風害によって攪乱を受けたボカスギやカワイダニスギの人工林における、被害から2生育期間後および20年後と30年後の広葉樹の発生、生育状況について調査した。同時に、冠雪害を受けたまま放置されたスギ人工林の評価を行い、それらの林分についての今後の取り扱いについて検討した。冠雪害から2生育期間後の林分における調査の結果では、混交林化にとって有効な高木性広葉樹の稚樹密度は、スギ人工林の環境、とくにその林分が成立している立地環境に依存し、気象害などによる林内光環境の変化は影響を及ぼさないということが推定された。冠雪害から20年後の林分における調査では、高木性広葉樹の胸高断面積は、冠雪害によってより大きな攪乱を受けた林分で大きいという結果となったが、被害から30年後に行った再調査では、地位指数が小さい林分で大きいという結果となった。また、冠雪害から30年間経過したスギ人工林の蓄積は、主伐の対象として考えても十分に収益性があると判断された。これらの結果から、調査対象とした地域におけるスギ人工林は、気象害のリスクはあるものの、気象害抵抗性品種などを使った循環利用を目指し、混交林化は生産性の低い一部の林分について検討することが望ましいと考えられた。

1. はじめに

日本国内における人工林面積が1,000万haを超えてからすでに30年となる。その間に人工林の蓄積量は2倍以上に増加するとともに、それらの過半数は本来の伐期齢を過ぎた林分となっている(林野庁 2012)。近年はそれらの人工林からの出材を積極的に進める方向にあり、施業も間伐を中心として行われてきたが、主伐再造林による更新も拡大しつつあり、立木の伐採面積や材積は増加に転じている(林野庁 2016)。一方、森林環境税を活用した事業によって、全国的に多くの自治体で人工林の混交林化、広葉樹林化を行おうとしている。同様に、国有林においても人工林から多様な森林への誘導を図ろうとしている。広葉樹林の天然更新を確実に行える技術も十分に確立されていない状況で、人工林の混交林化、広葉樹林化の可能性には、まだ、未知数の部分が多いと考えられる。さらに、

人工林から混交林へと誘導される過程や、その目標林型についても想定の域を出ない。ここでは、気象害によってさまざまな攪乱(本数密度の減少)を受けたスギ人工林における、被害から2生育期間後および20年後と30年後の広葉樹の発生、生育状況について整理してみた。同時に、冠雪害を受けたまま放置されたスギ人工林の評価を行い、それらの林分についての今後の取り扱いについて検討した。

2. 調査方法

2-1 2004年の気象害林分における2生育期間後の稚樹の発生および林床植生

富山県では2004年に冠雪害や台風23号による風害が発生し、多くの樹木に折損、転倒等の被害が生じた。また、冠雪害に関してはこれまでも度々大きな被害がもたらされ(嘉戸 2008a)、被害跡地の多くは、被害木の処理や植栽など、

*1 富山県農林水産総合技術センター森林研究所 〒930-1362 富山県中新川郡立山町吉峰3(Forest Research Institute, Toyama Prefectural Agricultural, Forestry and Fisheries Research Center, 3 Yoshimine, Tateyama-machi, Toyama 930-1362, Japan)

*2 富山県農林水産公社 〒930-0096 富山県富山市舟橋北町4-19(Toyama Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Corporation, Funahashi-kitamachi 4-19, Toyama 930-0096, Japan)

表-1 2004年に気象害を受けた調査林分の概況

		平均	最小~最大
被害発生前	胸高断面積合計	(m ² /ha)	59.5 25.0~110.0
	林齢	(年)	35.0 13~74
被害発生時	本数被害率	(%)	26.7 0~100
	収量比数		0.44 0.00~0.97
調査時	胸高断面積合計	(m ² /ha)	35.7 0.0~113.0
	相対散乱光	(%)	29.2 1.5~86.8
立地環境	地位指数		20.8 14.2~29.7
	標高	(m)	240 172~491
	傾斜	(度)	16.2 0.0~37.0
	林縁までの距離	(m)	23.8 12~142
	隣接二次林までの距離	(m)	59.5 15~195
	出現種数	(種)	40.6 21~65
植生調査	うち高木種	(種)	9.2 0~18
	高木稚樹密度	(本/ha)	8647 0~25250
稚樹調査		(本/ha)	3011 0~25000
	うち先駆性	(%)	24.2 0.0~75.0

回復のための作業が行われないうまま放置されている。これらの林分において森林が回復しない場合や回復が極端に遅れた場合には、水土保持や山地災害防止などの機能の低下が懸念される。一方、富山県は2007年度に開始した「水とみどりの森づくり事業」の一環として、風雪被害を受けた人工林の混交林化を目的とした事業を行っている。

調査の対象としたのは、2004年1月に冠雪害が発生した45林分と、2004年10月の台風23号の通過にともなって風害が発生した50林分で（嘉戸・凶子 2006, 2008b）、無被害林分から激害林分までを含む（表-1）。なお、これらの林分は気象害に比較的弱いボカスギまたはカワイダニスギの林分である。

雪害林分については2006年の夏から秋にかけて、風害林分については2007年夏から2008年春にかけて、各調査林分に半径10mの円形プロット（面積314m²）を設定し、スギを含む胸高直径5cm以上の樹木を対象に、胸高直径と樹高の毎木調査を行った。また、円形プロットの中心から最大傾斜線に直角の方向に左右それぞれ10mのラインに沿って、斜面上側に2m×2mのコドラートを連続的に10カ所設定し、胸高直径5cm未満の高木種（ここではラウンケアの休眠型で大型地上植物MM、小型地上植物Mに区分された本木とした（宮脇 1978））の稚樹すべてと、樹高1.3m以上の低木種の樹高を測定するとともに、調査区中心で全天写真を撮影し相対散乱光を求めた（石田 2005）。また、そのうち5カ所の調査区ではあわせて下層群落の植生調査（すべての維管束植物の葉の最高点の高さ（cm、以下植生高と呼ぶ）と植被率（%））を行った。これらの資料をもとに、一般化線形モデルを用いて、高木性広葉樹については遷移上

表-2 更新に有効な稚樹の高さの求め方

種	植被率(%)	積算植被率(%)	植生高(cm)
ヒメコウゾ	20	20	158
マツヅサ	20	40	115
クマイザサ	40	80	113
サルトリイバラ	20	100	112*
ワラビ	30	130	110
モミジイチゴ	5	135	104
ミツバアケビ	1	136	92
ヒヨドリバナ	1	137	67

*更新可能稚樹を決定する高さの基準

の位置づけによって、攪乱直後に多数発生する耐陰性の小さいアカメガシワやイイギリなどの先駆性樹種と、林内性樹種（遷移上の位置づけで二次林種と呼ばれるウワミズザクラなどや、遷移後期種と呼ばれるハリギリなどを含む）に区分し、それぞれの稚樹密度を目的変数、下層植生の積算植被率（低木と草本の植被率の積算値）やスギの林齢、地位指数、被害前後のスギ胸高断面積、林縁からの距離、最も近い二次林からの距離を説明変数として解析した。また、下層植生の積算植被率を目的変数とした解析も行った。誤差分散には稚樹密度についてはポアソン分布を、下層植生の積算植被率についてはガンマ分布を仮定し、接続関数には対数を用い、最適モデルを作成するため赤池情報量規準（AIC）をもとに変数選択を行った。さらに、本調査対象地のように気象害などで林冠にギャップができた、皆伐後に造林未済地となったりした場合、高木の更新が低木やスギ等の草本との競争によって阻害されることが報告されていることから（高橋ら 2013）、低木と草本を対象に植生高の高い種から植被率を足しあげ、コドラートごとに積算植被率が100%に達した高さ（表-2の場合は112cm）を基準として、それよりも樹幹長の大きい高木種の個体を更新に有効な稚樹として、その個体数を目的変数として同様の解析を行った。また、この場合は説明変数から低木や草本の積算植被率は除いた。なお、気象害の発生頻度に斜面方位角や地形開放度などの地形要因による明確な偏りがあるため（嘉戸 2008a）、そのことによる影響を解析結果から排除するために、これらの要因は説明変数から除いた。

2-2 1985年に冠雪害が発生したスギ林分の2005年および2015年における状況

1985年の冠雪害はその年末に富山県氷見市仏生寺地区を中心に発生した。冠雪害の状況につ

いては積雪期が終わった1986年に、被害のなかった林分も含めて40林分を対象に行われた(嘉戸ら 1992)。2005年にそれらの調査地のうち確認できた25林分を対象として調査を行った。ただし、それら25林分のうち2015年の再調査時までの間に明らかに人為的な攪乱が認められたり、調査林分が確認できなかつたりした2林分は対象から外し、23林分を解析の対象とした。調査内容は2004年の気象害林分での調査に準じて、下層群落の調査および全天写真の撮影を除く項目について行った。これらの資料をもとに、一般化線形モデルを用いて、先駆性、林内性およびそれらを加えた高木性広葉樹全体の胸高断面積を目的変数に、林齢や地位指数、被害前後および調査時のスギ胸高断面積を説明変数として解析した。その際、誤差分散にはガンマ分布を仮定し、接続関数には対数を用い、最適モデルを作成するためAICをもとに変数選択を行った。なお、解析にはR ver.3.1.2 (R Core Team 2014) を用いた。

3. 結果

3-1 2004年の風雪被害の程度と林内の光環境

2004年に気象害を受けた林分の概況は表-1のとおりであった。無被害林分も含めた本数被害率の平均は26.7% (最小0%~最大100%)であった。被害林分では林木が折損あるいは転倒することで、林内に大小のギャップが生じた。

表-3 気象害発生2年後の高木種個体数密度予測のための説明変数

	全高木種		先駆性高木種		林内性高木種		低木と草本の積算植被率	
	係数	P	係数	P	係数	P	係数	P
スギの林齢	-0.0112	<0.001	-0.0296	<0.001	-0.0096	<0.001		
地位指数	-0.0460	<0.001	0.0339	0.009	-0.0705	<0.001	0.0303	<0.001
被害前の胸高断面積			0.0130	<0.001	-0.0031	0.075		
被害後の胸高断面積	-0.0029	<0.001	-0.0224	<0.001	0.0021	0.021	-0.0055	<0.001
林縁までの距離			0.0058	0.073				
二次林までの距離	-0.0008	0.074	0.0021	0.034	-0.0012	0.022		
低木と草本の積算植被率	0.0008	0.061			0.0014	0.004		
AIC	1582.2		963.03		1473.4		1793	

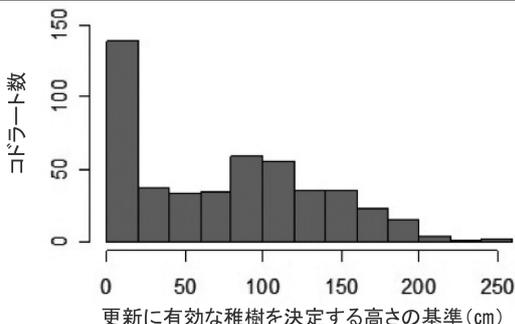


図-2 更新に有効な稚樹を決定する高さの頻度分布

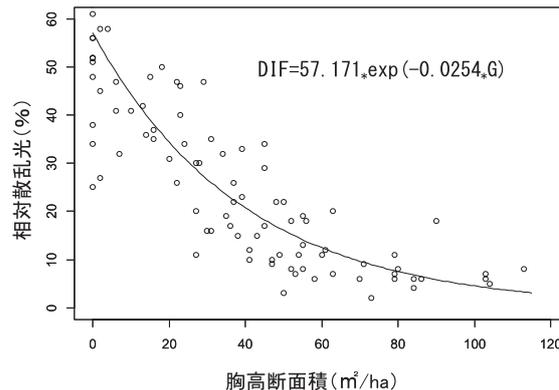


図-1 スギの胸高断面積と相対散乱光の関係
DIF: 相対散乱光 (%), G: 胸高断面積 (m²/ha)

その結果、被害後の相対散乱光は平均29.2% (1.5%~86.8%)となり、被害後の胸高断面積との関係に指数式を当てはめたところ(図-1)、実測値と胸高断面積からの推定値の間に有意な関係が認められた(決定係数0.757)。

3-2 2004年の気象害から2生育期間後の稚樹および植生調査からの混交林化の推定

すべての調査林分における植生調査での出現種数は316種(うち高木種65種)、各林分での出現種数は21~65種(うち高木種0~18種)であった。高木種の広葉樹稚樹密度はすべての調査林分の平均で8,647本/ha、各林分では0~25,250本/haであった。先駆性の広葉樹稚樹密度は平均で3,011本/ha、林内性の広葉樹稚樹密度は平均で5,636本/haであった(表-1)。

被害前後のスギ胸高断面積などと2生育期間

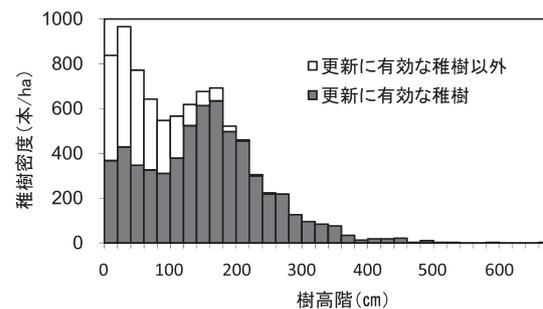


図-3 稚樹密度の樹高階分布

表-4 気象害発生2年後の更新に有効と判断された高木種個体数密度予測のための説明変数

	全高木種		先駆性高木種		林内性高木種	
	係数	P	係数	P	係数	P
スギの林齢	-0.0117	<0.001	-0.0252	<0.001	-0.0110	0.001
地位指数	-0.0519	<0.001	0.0427	0.004	-0.0783	<0.001
被害前の胸高断面積			0.0119	<0.001	-0.0039	0.066
被害後の胸高断面積			-0.0204	<0.001	0.0056	<0.001
二次林までの距離	-0.0013	0.011			-0.0014	0.024
AIC	1596.8		1596.8		1386	

後における稚樹の発生・生育状況や林床植生との関係を一般化線形モデルで解析したところ（表-3），先駆性の高木種は，被害後のスギ胸高断面積が小さい，スギの林齢が若い，被害前のスギ胸高断面積が大きい，地位指数が大きい，二次林までの距離が遠い被害林分で稚樹密度が大きいという結果となった。林内性の高木種では地位指数が小さい，スギの林齢が若い，低木・草本の積算植被率が大きい，被害後のスギ胸高断面積が大きい，二次林までの距離が近い被害林分で稚樹密度が大きいという結果となった。このように，先駆性樹種と林内性樹種では地位指数や被害後のスギ胸高断面積に対して異なる傾向を示した。両者を加えた全高木種を目的変数とした結果では，地位指数が小さく，スギの林齢が若い，被害後のスギ胸高断面

積が小さい被害林分で稚樹密度が大きいという結果となった。一方，これらの高木性広葉樹の稚樹と競合すると考えられる低木や草本の積算植被率を目的変数として解析した結果，地位指数が大きく被害後のスギ胸高断面積が小さい被害林分で大きいという結果となった。

更新に有効な稚樹を選ぶために求めたコドラートごとの基準となる植生高と，稚樹の樹幹長ごとの個体数の分布は図-2，3のようになった。解析の結果は（表-4），先駆性の高木種では，全個体を対象とした場合とほぼ同様となったが，二次林までの距離は選択されなかった。林内性の高木種では，全個体を対象とした場合と同様となった。また，両者を加えた全高木種を目的変数とした結果では，全個体を対象とした場合と同様に，地位指数が小さく，スギの林

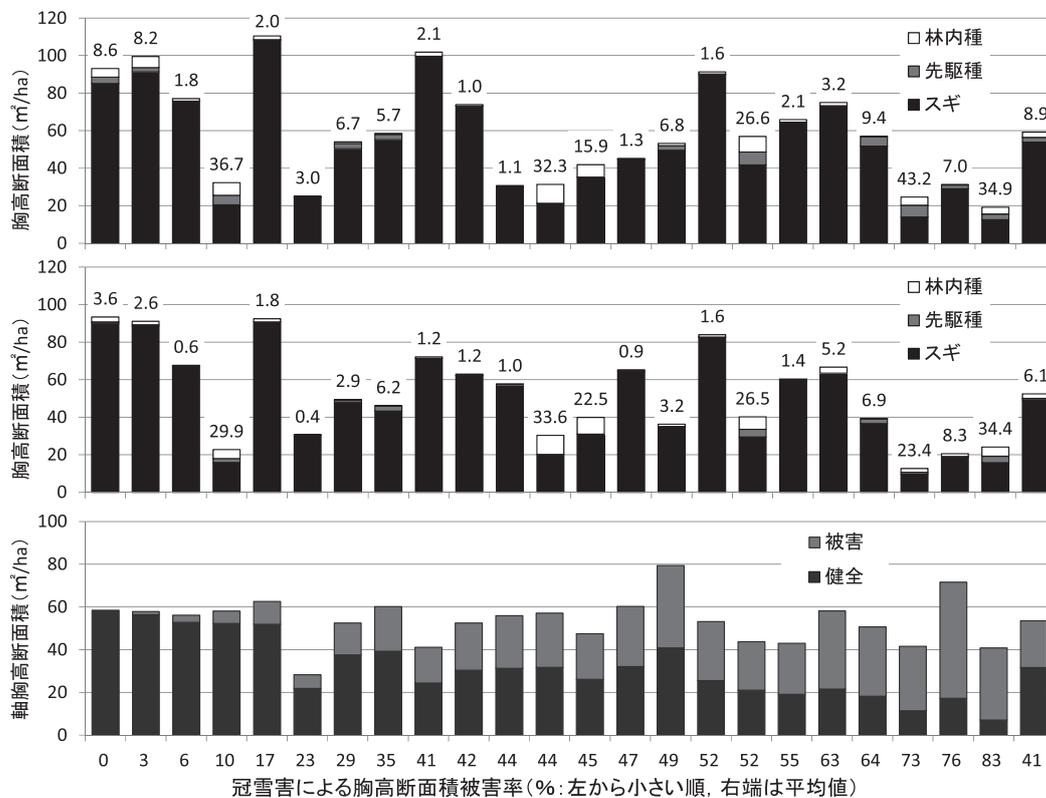


図-4 1985年の冠雪害の概要と被害から20年後および30年後の林分の状況
 下：冠雪害の被害状況，中：被害から20年後の状況，上：被害から30年後の状況，
 中と上の図中の数字は林分胸高断面積に占める高木性広葉樹の割合

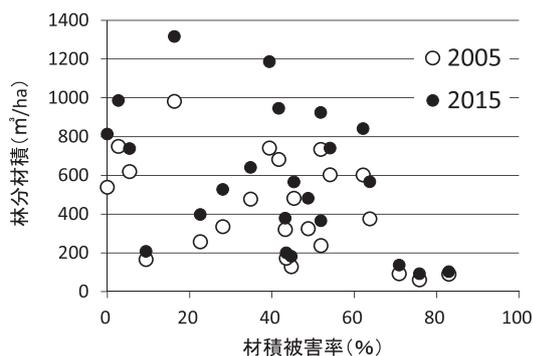


図-5 材積被害率と被害後20年時と30年時のスギ林分材積の関係

齢が若い被害林分で、稚樹密度が大きくなった。一方、被害後のスギ胸高断面積は選択されず、二次林までの距離が小さい被害林分で稚樹密度が大きくなった。

3-3 1985年に冠雪害を受けたスギ林分の胸高断面積と材積の推移

1985年の冠雪害の概要と被害から20年後および30年後の林分の状況を図-4に示した。冠雪害による胸高断面積での被害率は、無被害の0.0%から激害地の82.7%までの林分を含み平均では41.4%であった(嘉戸ら 1992)。

1985年の冠雪害発生前における23林分の平均は林分胸高断面積53.5m²/ha (28.3~79.4m²/ha), 林分材積567.1m³/ha (215.6~791.1m³/ha)であったが、胸高断面積被害率で平均41.4% (0.0~82.7%), 材積被害率で平均40.8% (0.0~83.0%)の冠雪害を受けることによって、林分胸高断面積は31.7m²/ha (7.1~58.5m²/ha), 林分材積は368.2m³/ha (58.9~521.4m³/ha)となった。冠雪害から20年が経過した2005年には、林分胸高断面積は40.4m²/ha (6.3~90.2m²/ha), 林分材積490.6m³/ha (61.1~981.9m³/ha), 30年が経過した2015年には、林分胸高断面積は53.0m²/ha (9.8~108.3m²/ha), 林分材積は639.3m³/ha (92.1~1315.5m³/ha)となり、一部の林分では1985年の冠雪害以降にも新たに冠雪害が発生した状況が観察された。また、この10年間ににおける断面積成長量は1.3m²

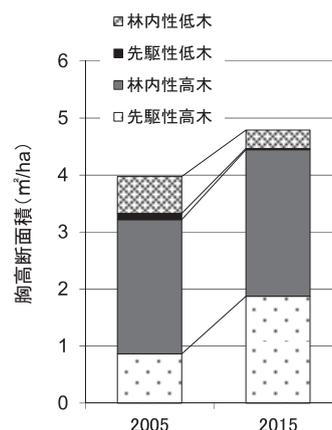


図-6 被害発生20年後と30年後の高木性広葉樹の胸高断面積

/ha・yr (0.2~3.2m²/ha・yr), 材積成長量は15.5m³/ha・yr (1.2~44.5m³/ha・yr)となり、成長量の大きい林分の値は、同地域で調査されたボカスギ若齢林分のそれを上回った(相浦1988)。個々の林分における材積被害率と、被害から20年後および30年後の林分材積の関係をみると、材積被害率60%程度であった林分でも、林分材積はそれぞれ400~600m³/ha, 600~800m³/haに達していた(図-5)。

3-4 1985年に冠雪害を受けたスギ林分における高木性広葉樹の状況

高木性広葉樹の胸高断面積は、冠雪害発生から20年後の2005年には、調査した23林分の平均で3.22m²/ha (0.11~10.64m²/ha), このうち先駆性樹種の合計は平均で0.86m²/ha (0.00~4.00m²/ha), 林内性樹種の合計は平均で2.36m²/ha (0.00~10.16m²/ha)であった。また、低木も加えた広葉樹すべてでは、平均で3.97m²/ha (0.67~10.66m²/ha)であった(図-6)。

一般化線形モデルによる解析の結果(表-5), 高木性広葉樹の胸高断面積は先駆性樹種では調査時点でのスギの胸高断面積が小さいが、被害直後のスギの胸高断面積は大きく、林齢が若い林分で大きいという結果になった。林内性樹種では地位指数の小さい林分で大きいと

表-5 冠雪害発生20年後の高木性広葉樹胸高断面積を予測のするための説明変数

	全高木種		先駆性高木種		林内性高木種	
	係数	P	係数	P	係数	P
スギの林齢	-0.0956	0.094	-0.1953	0.016		
地位指数	-0.1823	0.035			-0.3621	0.001
被害前の胸高断面積	0.0763	0.002				
被害後の胸高断面積			0.0706	0.012		
調査時の胸高断面積	-0.0295	0.006	-0.0656	<0.001		
AIC	86.148		16.635		57.432	

表-6 冠雪害発生30年後の高木性広葉樹胸高断面積を予測するための説明変数

	全高木種		先駆性高木種		林内性高木種	
	係数	P	係数	P	係数	P
地位指数	-0.24028	<0.001			-0.31010	<0.001
被害後の胸高断面積					0.01803	0.152
調査時の胸高断面積			-0.01734	0.056		
AIC	109.8		72.684		78.616	

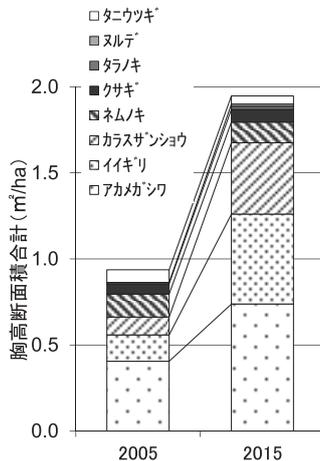


図-7 被害発生20年後と30年後の先駆性高木の胸高断面積

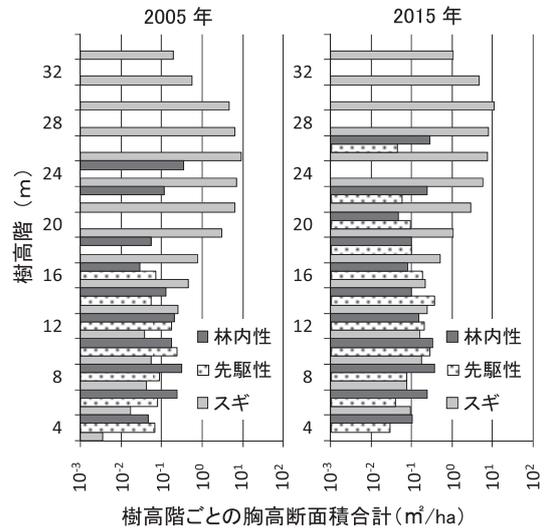


図-8 被害発生20年後と30年後の林分の階層構造

いう結果になった。高木性広葉樹すべての胸高断面積を目的変数にすると、被害前のスギ胸高断面積は大きい、調査時点でのスギの胸高断面積と地位指数が小さい林分で大きいという結果になった。

冠雪害発生から30年後の2015年の調査結果では、調査した23林分の平均で4.44m²/ha (0.27~15.14m²/ha)，このうち先駆性樹種の合計は平均で1.87m²/ha (0.00~6.79m²/ha)，林内性樹種の合計は平均で2.57m²/ha (0.19~10.14m²/ha)であった。また、低木も加えた広葉樹すべてでは、平均で4.80m²/ha (0.27~15.72m²/ha)であった(図-6)。

一般化線形モデルによる解析の結果(表-6)、高木性広葉樹の胸高断面積は、先駆性樹種では調査時点でのスギの胸高断面積が小さい林分で大きい傾向にあったが、有意な関係は認められなかった。林内性樹種では地位指数の小さい林分で大きかった。高木性広葉樹すべての胸高断面積でも、地位指数が小さい林分で大きいという結果が示された。

3-5 2005年から2015年時までの10年間における広葉樹の成長と林分階層構造の変化

2005年からの10年間における高木性広葉樹の胸高断面積の増加量は平均で1.23m²/ha (-2.47~

7.66m²/ha)。このうち先駆性樹種では1.01m²/ha (-0.38~5.18m²/ha)，林内性樹種では0.22m²/ha (-2.47~2.48m²/ha)であった。また、低木も加えた広葉樹すべてでは、平均で0.83m²/ha (-3.30~7.47m²/ha)であった(図-6)。

とくに増加量が大きかった先駆性高木種について樹種ごとの変化を見ると、アカマガシワが0.33m²/ha、イイギリが0.37m²/ha、カラスザンショウが0.31m²/ha増加していて、この10年間の広葉樹の胸高断面積の増加は、概ねこれら3樹種によるものであった(図-7)。

林分階層構造の変化を見てみると、依然スギが林冠を占めているものの、亜高木層に達している広葉樹も見られ、先駆性樹種がこの10年間で亜高木層に加わってきた(図-8)。

4. 考察

4-1 風雪害にともなう林内光環境の変化

一般に、森林環境税を活用した事業等によって、人工林の混交林化や広葉樹林化を図る場合には、強度間伐によって林内光環境を改善し、広葉樹稚樹の発生や成長を促そうとする。ところで、こうした更新稚樹が定着するには、林床における相対散乱光が陽樹では40%以上、陰樹

でも20%, 中間種で30%が必要であると言われている(石田 2004)。一方, 富山県が「みどりの森再生事業」で混交林化を目指して, 平均で本数間伐率43.8%, 材積間伐率で25.7%, 間伐後のスギ胸高断面積が40.2m³/ha, 部分的には本数間伐率52.9%, 材積間伐率で40.2%, 間伐後のスギ胸高断面積が29.3m³/haのかなり強度な間伐を行った約0.5haのスギ人工林内の相対散乱光の分布を推定した結果では, 相対散乱光が20%以下と推定された面積の割合が49.0%, 30%以下と推定された面積の割合が88.0%となり, 相対散乱光が30%を超える場所は, 林縁に近い一部分に限られていた(相浦・大宮, 2010)。

2004年の気象害跡地におけるスギ胸高断面積と相対散乱光の関係でみると, 地形や調査林分周辺の被害状況などによってばらつきはあるが, 回帰式から推定すると(図-1)相対散乱光が20%の場合のスギ胸高断面積は41.4m³/ha, 相対散乱光が30%の場合のスギ胸高断面積は25.4m³/ha, 相対散乱光が40%以上になるにはスギ胸高断面積が14.1m³/ha未満である必要があると推定された。このことは, 先駆性高木等の陽樹による更新も期待した場合に, ここで調査対象とした2004年の気象害林分のスギ胸高断面積の平均が59.5m³/haであったので, この値を14.1m³/ha未満にするためには, 胸高断面積での間伐率が75%以上であることが必要となり, スギ人工林として扱う施業の範囲を超えるものと考えられた。

4-2 2004年の風雪害から2生育期間後の調査結果から推定される混交林化の可能性

スギ人工林の林齢に対する反応をみると, 先駆性樹種, 林内性樹種で共通して林齢が若い林分で稚樹密度は大きくなったことから, 被害がより若い林分で発生した場合に, 混交林化の可能性が高いと判断された。地位指数に対する反応は先駆性樹種と林内性樹種で異なり, 先駆性樹種では地位指数が大きい林分で稚樹密度が大きくなったが, 林内性樹種では地位指数が小さい林分で稚樹密度が明らかに大きくなった。また, 高木種と競合する低木や草本は, 地位指数が大きい林分で明らかに繁茂していた。これらの結果は, 先駆性樹種では地位指数が大きく立地条件の良好な林分で, 多数発生した稚樹が順調に初期成長し, 生残しやすかったのに対し

て, 林内性樹種は地位指数が小さく, 低木や草本との競合が少なかった林分で, 生残しやすかったためと考えられる。また, 全高木種の稚樹密度は地位指数が小さい林分で明らかに大きくなった。したがって, 高木種と低木や草本との競合関係からみた場合, 地位指数が小さい林分において高木種の生残, 混交林化の可能性が高いと想定された。

風雪害による林内光環境の変化による影響をみると, 先駆性樹種の稚樹密度は, 被害前のスギ胸高断面積が大きく被害後の胸高断面積が小さい, すなわち被害による攪乱がより大きかった林分で明らかに大きくなった。一方, 林内性樹種ではこれとは反対の傾向を示した。全高木種の稚樹密度としては, 被害後の胸高断面積が小さい林分で大きくなる傾向を示した。また, 林内光環境が明るくなることによって, 更新初期に高木種と競合すると考えられる低木や草本が明らかに繁茂していた。これらのことは林内が明るくなることで, 先駆性樹種を主体として高木性稚樹を増加させる一方で, 低木や草本との競合を激しくし, 混交林化にとって必ずしも有利な変化とは判断できなかった。二次林までの距離については先駆性樹種では遠いほど, 林内性樹種では近いほど多いという結果となった。これは, 先駆性樹種の多くが埋土種子からの発生に依存しているのに対して, 林内性樹種では前生樹に加えて林外からの侵入による更新にも, 一部依存していることを示すと考えられた。

低木や草本との競合を考慮して, 混交林化にとって有効な稚樹と判断された個体を対象に解析した結果から混交林化の可能性を考えた場合, スギ人工林の環境, とくにその林分が成立している立地環境に依存していた。また, 風雪害などによる林内光環境の変化は, 先駆性稚樹を増加させる一方で, 林内生稚樹を減少させ樹種構成の変化をもたらすものの, 高木性稚樹全体の個体数でみた場合には, その影響が相殺されたものと推察された。同様の傾向は, 秋田県内の多雪環境下にあるスギ人工林を対象とした調査においても, 標高が増すにしたがってスギ林の不成績化と広葉樹の進入による混交林化が進む一方で, 混交林化を阻害するササ類の密度が高くなることが指摘されている(和田ら 2009)。

4-3 推定された混交林化のプロセスと冠雪害発生後における林分構造の変化の比較

解析の結果から冠雪害から20年が経過したスギ人工林において、先駆性高木はスギ人工林の林齢が比較的若い時期に冠雪害が発生し、その強度はあまり強くない場合でも、その後も、繰り返し冠雪害等による攪乱のために、20年間にスギの胸高断面積が減少したり、スギの断面成長が回復しなかったりした林分で多かったものと判断された。一方、林内性高木は地位指数の小さい林分で多く、スギ人工林の立地環境に依存していた。それらを加えた高木性広葉樹の胸高断面積は、スギにとって立地環境が適当ではなく、1985年に発生した冠雪害によるものも含めて、その被害から20年後の時点でスギの胸高断面積が小さくなった林分で大きかったことになる。

2004年に発生した風雪害跡地における調査結果と関連づけて検討すると、比較的強度な冠雪害が発生すると先駆性高木は多く発生するものの、その後も繰り返し攪乱がないと、低木や草本との競合やスギ樹冠の回復に伴う光環境の悪化などによって、多くが消失したものと考えられた。一方、林内性高木は比較的強度な冠雪害が発生しても、とくに多くの個体が発生するわけではないものの、その後にスギの胸高断面積が減少した林分において、生残していた個体が成長したと考えられる。

冠雪害の発生から30年が経過したスギ人工林における先駆性高木の胸高断面積は、調査時点でのスギの胸高断面積が小さい林分で大きい傾向がうかがわれたが有意な関係にはなく、ほかに関係する要因は見当たらなかった。一方、林内性高木の胸高断面積は地位指数が小さい林分で大きかった。この結果は、冠雪害の20年後から30年後の間の高木性広葉樹の胸高断面積が、主に先駆性樹種で増加したことから考えると、混交する先駆性高木種の個体サイズが大きくなり、スギの成長や樹冠の拡大による影響があまりなくなってきた一方で、林内性高木種は先駆性樹種に比べると成長量が小さく、スギの成長や樹冠の拡大による影響を依然として受け、成長が抑制されていることを示すものと考えられた。高木性広葉樹全体の胸高断面積では、地位指数が小さい林分で大きかった。2004年に発生した風雪害跡地における調査結果でも、地位指

数についてはその値が小さい林分で、更新に有効な高木性稚樹が多く生存していた。これらの結果は、地位指数が小さい林分では冠雪害発生後のスギの樹高成長も緩やかで、林冠の回復も遅れる（相浦 2006）ことが影響したためと考えられる。

4-4 スギ人工林と広葉樹の混交林としての評価

冠雪害から30年後に調査対象となった先駆性広葉樹は、すでにスギとの競合から抜けだしつつあると考えられ、その意味ではスギ人工林に混交したともいえよう。一方、林内性広葉樹は依然としてスギによって成長を抑制されていると考えられ、スギの下層に位置しているため、狭い意味での混交状態には至っていないと判断された。また、胸高断面積の増加が顕著であった先駆性広葉樹の3樹種はともに短命であり耐陰性が低く（森林総合研究所 2010, 小池 1987）、林分胸高断面積に占める高木性広葉樹全体の割合は平均8.9%（1.0~43.2%）に過ぎないことから（図-4）、安定した混交林を形成したとはいえない。

4-5 1985年に冠雪害を受けたスギ人工林の評価

今回調査の対象とした1985年に冠雪害を受けたスギ人工林では、平均的林齢が27年生の時に立木本数の平均46.5%（0-84.6%）が被害を受け、残存立木密度は平均521本/ha（150-1250本/ha）となった。平均的林齢が57年生となった2015年、立木密度は平均307本/haであるが林分材積は平均639.3m³/haとなり、丸太として換算すると400m³/ha程度になると考えられる（林野庁 2016）。富山県林業経営収支予測システム（図子 2014）を用いて推定した結果、素材生産利益がおよそ1,500千円/haと試算され、主伐の対象として考えても十分に収益性のある蓄積であると判断された。

また、1985年に発生した冠雪害による材積の減少を、強度の搬出間伐によって生産されたものと仮定すると、それによって立木材積にして241.9m³/ha、丸太として換算すると150m³/ha程度が収穫されたことになり、この地域の生産力が非常に高いことがわかる。

5 おわりに

針葉樹人工林の混交林化や広葉樹林化についての研究はこれまで多数行われ、その指針となるハンドブックも作成されている（森林総合研

究所 2010,2012)。これらの中でも、このような針葉樹人工林の混交林化や広葉樹林化の可能性やその方法を判断する場合に、立地条件についても把握する必要があることが指摘されている。一方、本研究の対象としたような多雪地域の、すでに成林したスギ人工林において、強度な間伐を行うことで先駆性稚樹を多数発生させることはできても、林内に一様に発生するわけではなく、年数の経過とともに急激に個体数が減少している(相浦・大宮 2010)。また、皆伐跡の造林未済地においても、多数発生した先駆性樹種は早期に衰退し、非先駆性樹種を優占種とする部分や、ススキ等の草本や低木が繁茂した部分が不均一に分布する林分となる可能性が高いことが指摘されている(高橋ら 2013)。

ところで、現在の住宅マーケットからみた木材供給に必要な森林面積は、すべて30%の間伐で賄うことにした場合、548万ha/年が必要になると試算されている(森林経営計画研究会編 2016)。今後も住宅建設による木材需要が同程度の水準で推移し、仮に10年間隔で間伐を繰り返すことができるとした場合には、必要な人工林は単純計算で548万haとなる。また、森林総合研究所の試算によれば、一人あたりの木材の消費が2010年の水準で推移した場合、製材・合板用材自給率100%の達成に必要な生産的人工林面積は333~500万haとされている(森林総合研究所編 2012)。一方では、日本における現在の森林の状況が「森林飽和」と指摘されたり(太田 2012)、今後の森林管理の方向性として、人工林を適切な規模まで段階的に縮小していくための「縮小」造林政策が提案されたりしている(相川 2014)。いずれにしても、現在ある1000万haを超える針葉樹人工林面積は需要に対して過剰であり、多くみてもその半数は利用されることなく、そのまま放置されることになる可能性が高いと考えられる。そして、その対象となるのは搬出などに多くのコストが掛かる奥山林、地形や土壌条件などによって生育が悪いいわゆる不成績造林地(豪雪地帯林業技術開発協議会編 2000)、あるいは今回調査対象としたような気象害のリスクが高い地域の森林などが考えられる。そのような観点から判断した場合、今回調査の対象とした地域は、人工林を段階的に縮小していくことが望ましいとも考

えられる。

そこで、氷見市仏生寺地区のスギ人工林についての評価を改めて考えると、冬期間にまとまった量の湿雪が降る地域である(嘉戸 2008a)ことのほかに、材強度が明らかに弱いスギ品種であるボカスギ(嘉戸 2001)の人工林であったことも考慮する必要がある。また、地区全体で見た場合には十分に収益性のあるスギ人工林になっていることや、冠雪害を受けた生産性の高い林分で、広葉樹が少ない傾向にあることからすると、この地区の山林の利用方法は、気象害抵抗性を考慮した品種選択を行った、皆伐再造林による循環利用が望ましいと思われる。

つまり、本調査の結果も含めて考えた場合、混交林化や広葉樹林化は針葉樹人工林としては生育が思わしくない条件の場所で行われるべきであり、循環利用が可能な場所との適切な境界の設定ができれば、それが人工林の段階的な縮小の目標となると考える。

本研究を実施するにあたり、現地調査などにおいて多大なるご支援をいただいた、富山県農林水産総合技術センター森林研究所の研究員の方々に感謝いたします。本報告は、第120回および第127回日本森林学会でポスター発表した内容を、改めてとりまとめたものである。また本研究の一部は、農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センターが実施した「攻めの農林水産業の実施に向けた革新的技術緊急展開事業(うち産学の英知を結集した革新的な技術体系の確立)」により実施した。

引用文献

- 相浦英春(1988)ボカスギ人工林の生産力. 富山県林業技術センター研究報告 1: 11-19
- 相浦英春(2006)カワイダニスギ人工林における成長と間伐効果. 富山県林業技術センター研究報告 19: 16-23
- 相浦英春・大宮徹(2010)スギ林の強度間伐が林内の光環境と下層植生に与える影響. 富山県農林水産総合技術センター森林研究所研究報告 2: 1-9
- 相川高信(2014)21世紀の国土のために「縮小」造林政策を考える. 季刊 政策・経営研

- 究 2014 Vol.1 : 78-91
- 豪雪地帯林業技術開発協議会編 (2000) 雪国の森林づくり. 189pp. 日本林業調査会. 東京
- 石田仁 (2004) 富山県の天然林とその管理－基礎編－. 富山県林業技術センター研究報告 17 (別冊) : 1-146
- 石田仁 (2005) RGBFisheyeマニュアル－森林内の光環境をデジタル全天写真から自動計算するアプリケーション・ソフト－. <http://www1.gifu-u.ac.jp/~ishidam/etc.html>
- 嘉戸昭夫・中谷浩・平英彰 (1992) ボカスギ林の冠雪害と林木および地形要因の関係. 日林誌 74 : 114-119
- 嘉戸昭夫 (2001) スギ人工林における冠雪害抵抗性の推定とその応用に関する研究. 富山林技セ研報14 : 1-78
- 嘉戸昭夫・関子光太郎 (2006) 富山県のスギ林における冠雪害と地形要因の関係. 森林資源管理と数理モデルVol.6 : 77-88
- 嘉戸昭夫 (2008 a) 冠雪害リスクが高い富山県のスギ林分と林木の特徴. FORMATH Vol.8 : 45-61
- 嘉戸昭夫・関子光太郎 (2008 b) 2004年台風23号により富山県西部のスギ林で発生した風害の要因解析. 富山林試研報21 : 1-8.
- 宮脇昭編 (1978) 日本植生便覧. 850pp. 至文堂. 東京
- 小池孝良 (1987) 落葉広葉樹の光合成と寿命. 北方林業 39(8) : 11-15
- 太田猛彦 (2012) 森林飽和. 258pp. NHK出版. 東京
- R Core Team (2014) R : A language and environmental for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, URL <http://www.R-project.Org/>
- 林野庁 (2012) 森林資源の現況 (平成 24 年 3 月 31 日現在) URL <http://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h24/2.html>
- 林野庁 (2016) 森林・林業統計要覧. 280pp
- 森林経営計画研究会編 (2016) 森林経営計画ガイドブック. 280pp. 全林協. 東京
- 森林総合研究所編 (2012) 改定 森林・林業・木材産業の将来予測. 377pp. 日本林業調査会. 東京
- 森林総合研究所 (2010) 広葉樹林化ハンドブック2010. 36pp. 森総研四国支所. 高知
- 森林総合研究所 (2012) 広葉樹林化ハンドブック2012. 48pp. 森総研四国支所. 高知
- 高橋由佳・長谷川幹夫・関子光太郎・相浦英春 (2013) 富山県のスギ人工林皆伐跡地における実生更新初期段階の稚樹の動態. 日林誌 95 : 182-188
- 和田覚・金子智紀・八木橋勉・杉田久志 (2009) 多雪環境下におけるスギ人工林の成林と混交林化に影響を及ぼす要因. 日林誌 91 : 79-85
- 関子光太郎 (2014) 富山県林業経営収支予測システムの開発－魅力的で説得力のある施策提案を行うために－. 富山県農林水産総合技術センター森林研究所研究レポート9 : 1-6

Summary

Sapling density and growth of broad-leaved trees were studied in the evergreen coniferous (Boka-Sugi and Kawaidani-Sugi) plantations in the north-west of the Toyama Prefecture after 2–30 years of wind or snow damage. In addition, the Sugi stands, which were abandoned after snow damage, were evaluated for wood production, and future management was considered. A survey after two growing seasons following the damage suggested that effective sapling density of broad-leaved trees for regeneration mainly depended on the site conditions and was unaffected by the change in light conditions caused by weather damage. The basal areas of broad-leaved trees 20 years after snow damage were larger in the stands with a large damage. Meanwhile, those 30 years after snow damage were larger in the stands with low site index. The stand volumes 30 years after damage were profitable for final clear cutting. In conclusion, most of Sugi plantations in this area should be managed for repeated use by utilizing cultivars that are resistant to weather damage, and natural regeneration of broad-leaved trees should be applied only for stands with a low site index.