

カワイドニスギ人工林における成長と間伐効果

相浦 英春

Growth and effects of thinning of Kawaidani-sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) stands

Hideharu AIURA

富山県氷見市内の針木と戸津宮にあるカワイドニスギ林分を対象に、林分および個体の成長と間伐効果について検討した。両林分ではともに23年生時に間伐区と無間伐区が設定された。2つの試験地における地位指数は、針木で25、戸津宮で18と推定され生育状況は異なった。針木では間伐から7年後、戸津宮では5年後に、それぞれ間伐区と無間伐区から調査木を7本ずつ選定し、伐倒して現存量調査と樹幹解析を行った。その間、1～2年に一度毎木調査を行った。針木では間伐区の直径成長量が無間伐区と比べて明らかに大きくなったが、戸津宮では間伐区と無間伐区の間で直径成長量に有意な差は生じなかった。針木における間伐効果は間伐直後には現れず、2年目以降に間伐区における個体材積成長速度が、無間伐区に比べて大きくなり、3年目以降その傾向がさらに強まった。また、間伐7年後には針木では間伐区の林分の枝量および葉量が無間伐区と同程度に回復していた。これらの結果から、カワイドニスギ人工林における間伐効果は、間伐によって生じた空間に、残った個体が枝葉を伸長し、光をより多く獲得・利用できるようになることで成長量を増加することが主体であると判断された。そのため、林分の成長の良否によって間伐効果も異なると考えられた。

1. はじめに

間伐は立木密度を調整し、林木に適度の空間を与えることで肥大成長を促し、より大きな個体をより多くもった林分にできるだけ早く誘導することを目的としている。また、下層植生を繁茂させて表層土壌を保護し、山地災害防止や水源かん養など森林の多面的機能の発揮に役立つといわれている。さらに、富山県のような多雪地域においては、形状比を小さく抑えることで、冠雪害に対する林木の抵抗性を高める効果も期待される。

ところで、間伐によって個体の成長が促進されるメカニズムとしては、①間伐によって残された個体が獲得・利用できる光の量が増加し成長量が増加することが考えられる。このような変化は間伐の実施によって生じることから、その効果も間伐直後から生じると考えられる。②もう一つは、間伐によって生じた空間に、残った個体が枝葉を伸長し、光をよ

り多く獲得・利用できるようになることで成長量を増加することが考えられる。こちらは、間伐後の成長と形態変化にともなって発揮される効果であるから、間伐から数年かかる(滝谷ら、1996)とともに、その林分の成長の良否が関わってくることが予想される。

そこで、県内における造林の歴史が浅いため、そのほとんどが間伐時期にあたっている、挿し木品種のカワイドニスギ人工林を対象に、生育状況の異なる林分に設定された間伐試験地を使って、間伐効果について比較・検討を行ったので、その結果を報告する。

2. 調査地および調査方法

調査は、富山県氷見市内の針木と戸津宮に設定された間伐試験地を対象に行った。針木間伐試験地(以下、針木; 東経136°56'38", 北緯36°55'07")は

表-1 間伐試験地の概要

試験地	標高 (m)	間伐年	林齢 (年)	土壌型	地位指数	処理	設定時				間伐率	
							立木密度 (本/ha)	材積 (m ³ /ha)	平均樹高 (m)	収量比数	本数 (%)	材積 (%)
針木	200	1994	23	B _E	25	間伐区	1233	468.2	16.38	0.74	36.5	31.9
						無間伐区	1200	477.4	16.99	0.72		
戸津宮	230	1998	23	B _D	18	間伐区	1417	253.4	12.55	0.57	29.0	24.6
						無間伐区	1646	290.8	12.35	0.67		

標高190m, 年平均気温11.6℃, 年間降水量2868mm, 平均最大積雪深97cmであり, 1994年の23年生時にそれぞれ0.06ha (24m×25m) の間伐区と無間伐区を設けた。戸津宮間伐試験地(以下, 戸津宮; 東経136°58'44", 北緯36°55'54")は標高230m, 年平均気温12.2℃, 年間降水量2824mm, 平均最大積雪深96cmであり, 1998年の23年生時にそれぞれ約0.09ha (25m×35m) の間伐区と無間伐区を設けた。なお, 年平均気温, 年間降水量, 平均最大積雪深は気候値メッシュ・ファイルから推定した値である(気象庁, 1985, 1989; 岡村ら, 1989)。両試験地とも標高200m程度の丘陵性山地にあるが, 地位指数はそれぞれ針木では25, 戸津宮では18と推定され, 成長はかなり異なっている。試験地設定時の概要を表-1に示す。間伐区における本数間伐率は, 針木で36.5%, 戸津宮で29.0%, 材積間伐率では, 針木では31.9%, 戸津宮では24.6%で, 針木に比べると戸津宮の間伐率が若干低い。

間伐後は, 1~2年に一度毎木調査を行うとともに, 針木では間伐から7年後(2001年10月)の30年生時, 戸津宮では間伐から5年後(2003年10月)の28年生時に, 各試験区から調査木をそれぞれ7本選定して地際から伐倒し, 層厚1mとして層別刈取法に準じた方法で, 幹, 枝, 葉に分け生重量を測定した。なお, 葉は緑色部としたので緑枝を含んでいる。全調査木について層ごとに幹, 枝, 葉のサンプルを採り, 研究室に持ち帰って絶乾し含水率を求め, 生重量を絶乾重量に換算した。さらに, 試験区ごとに相対成長式を求め, 部位ごとの林分現存量を求めた。また, 絶乾する前の幹サンプルを用いて, 通常の方法で樹幹解析を行った。樹幹解析の結果から, 過去における D^2H (D : 胸高直径, H : 樹高) と個体材積の相対成長式を求め, 毎木調査のデータから林分材積を計算した。

戸津宮については, 伐倒調査前の2003年9月に,

間伐区と無間伐区にそれぞれ1m×1mのプロットを20カ所設け, 下層植生の現存量を調査した。また, 地面から2mの高さで全天写真を撮影し, 石田の方法(石田, 2003, 2004)に従って相対散乱光を推定した。

3. 結果

3.1 間伐後の肥大成長

期首直径と定期直径成長量(間伐後5年間)の関係をみると(図-1), 針木では回帰直線の切片が無間伐区と比べて間伐区で有意に大きく(共分散分析, $p < 0.001$), 個体の大小にかかわらず, 直径成長量が明らかに大きくなっている。一方, 戸津宮では間伐区と無間伐区では有意な差は認められなかった(共分散分析, $p > 0.05$)。その結果, 直径階分布で比較してみると(図-2), 針木では大きい直径階(30cm以上)に含まれる個体数が増加しているが, 戸津宮では大きい直径階の個体数は間伐区と無間伐

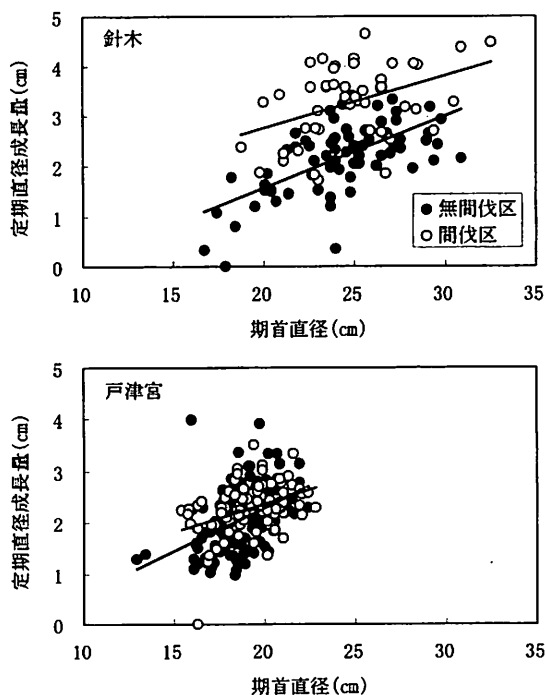


図-1 期首直径と定期直径成長量の関係

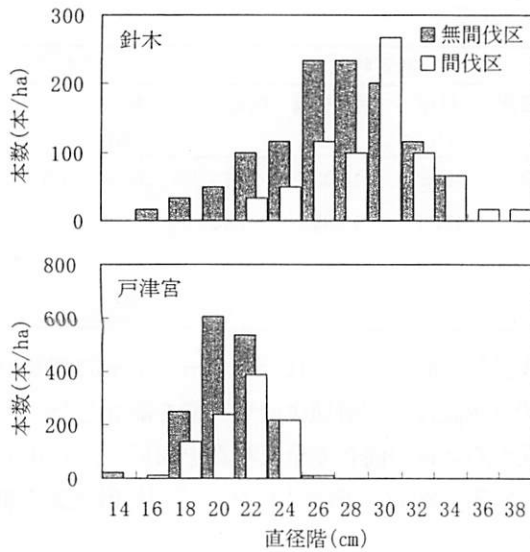


図-2 直径階分布

区で変わりがない。

3.2 断面積成長量の分布と形状比

間伐後の幹の肥大成長の様子を、平均断面積成長量の垂直分布で比較すると(図-3)、針木では2年目以降、樹幹とくにその下部での肥大成長が、無間伐区に比べて間伐区で明らかに大きくなっている。

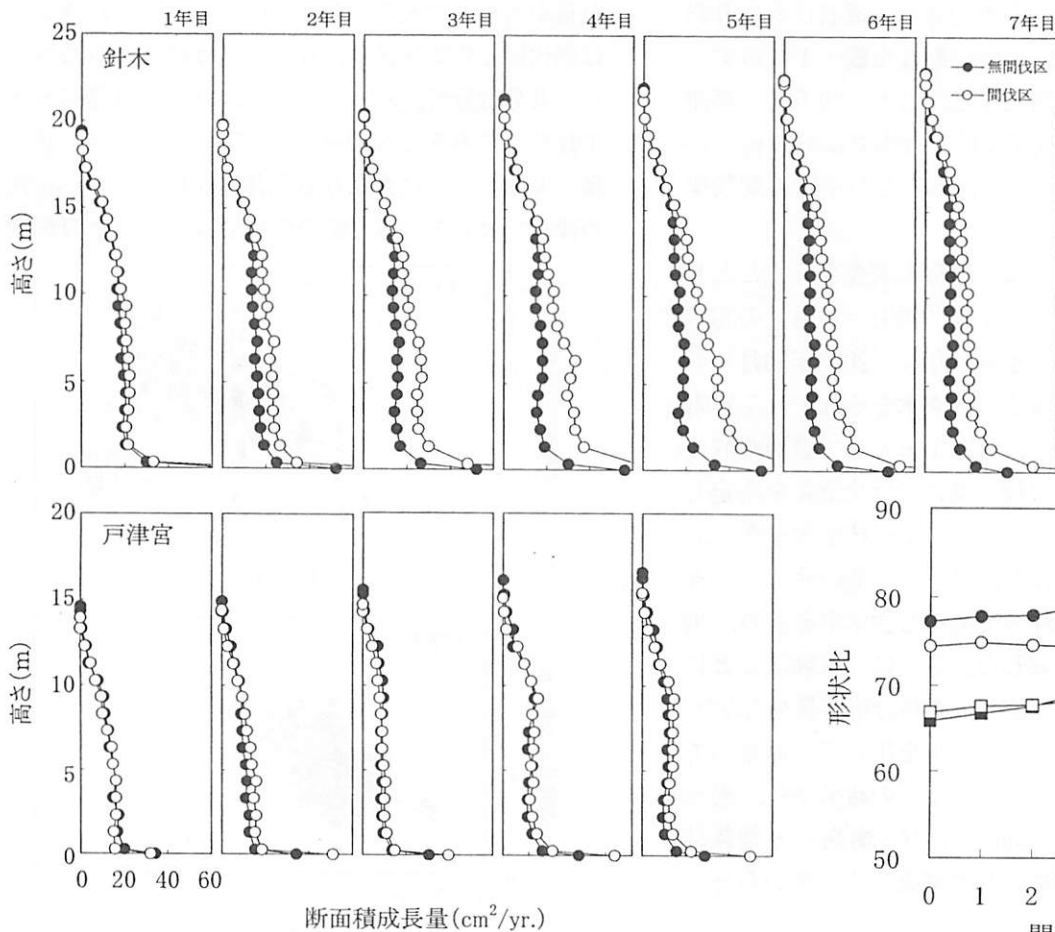


図-3 断面積成長量分布の推移

これと比べると戸津宮では、無間伐区よりも間伐区で断面積成長量が大きくなっているが、その差はわずかといえる。その結果、形状比の推移をみると(図-4)、針木では無間伐区の平均形状比が徐々に大きくなっているのに対して、間伐区では間伐後7年間ほぼ一定に保たれている。一方、戸津宮では両区とも形状比が大きくなる傾向にあり、間伐区の方が増加の程度は小さいものの、その差はあまり大きくない。

3.3 個体材積成長速度の推移

間伐効果が時間経過とともにどのように発揮されてきたかを、間伐前後の個体材積成長速度の推移で見てみる(図-5)。針木についてみると、間伐1年後にはまだ間伐区と無間伐区の間で違いは認められないが(T検定, $p > 0.05$), 2年目以降は両区間で個体材積成長速度に違いが認められ(T検定, $p < 0.01$), その差が徐々に拡大していったことが分かる。一方、戸津宮では間伐5年後まで個体材積成長速度に、処理区間で有意な差は生じていない(T検定, $p > 0.05$)。

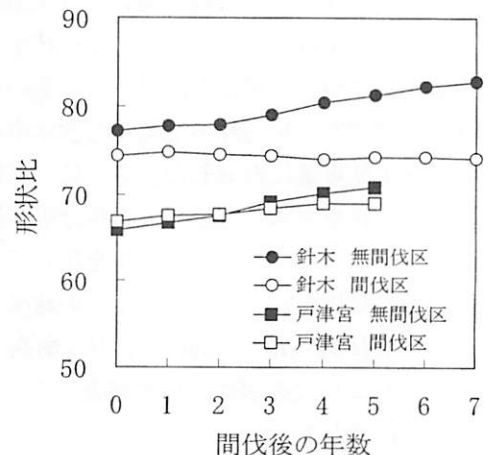


図-4 形状比の推移

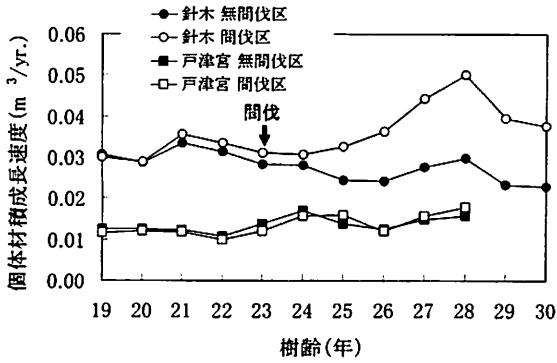


図-5 個体材積成長速度の推移

3.4 個体サイズと葉量, 材積成長量

個体サイズと葉量, 材積成長量の関係を見てみる。期首材積と期末葉量の関係を見ると (図-6), 両林分とも個体の大小にかかわらず, 間伐区で葉量が増加している。ただし, 針木に比べて戸津宮ではその増加量は小さい。期首材積と材積成長速度の関係を見ると (図-7), 針木では個体の大小にかかわらず, 無間伐区に比べて間伐区で材積成長速度が大きくなっているが, 戸津宮では処理区間で材積成長速度にほとんど違いが認められない。この結果, 針木では期末葉量と材積成長速度の関係は, 間伐区と無間伐区の間で分離されず (共分散分析, $p > 0.05$), 間伐による葉量の増加にともなって材積成長速度が

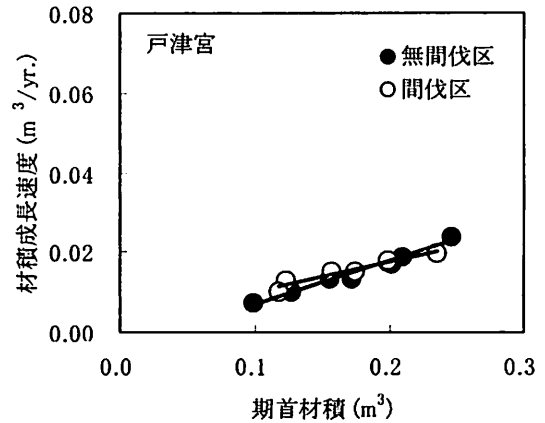
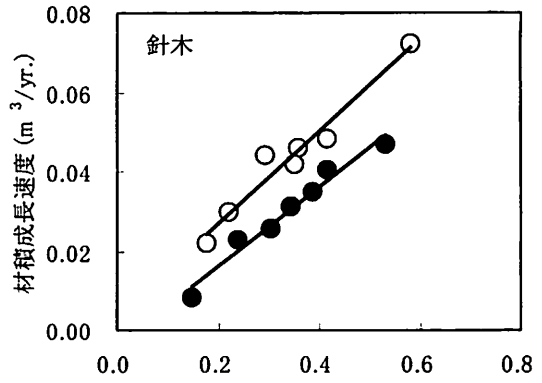


図-7 期首材積と材積成長速度の関係

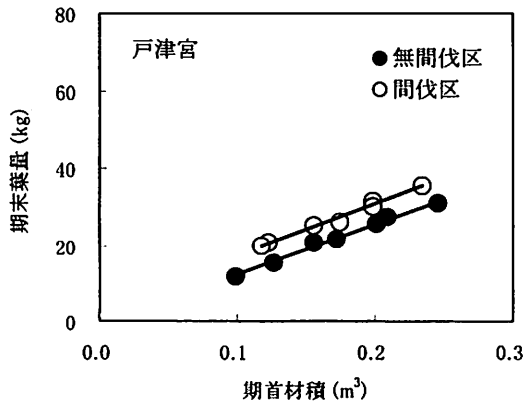
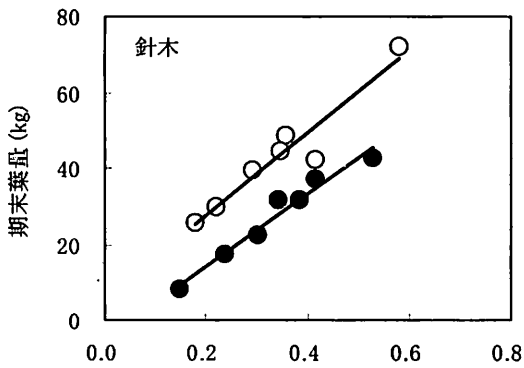


図-6 期首材積と期末葉量の関係

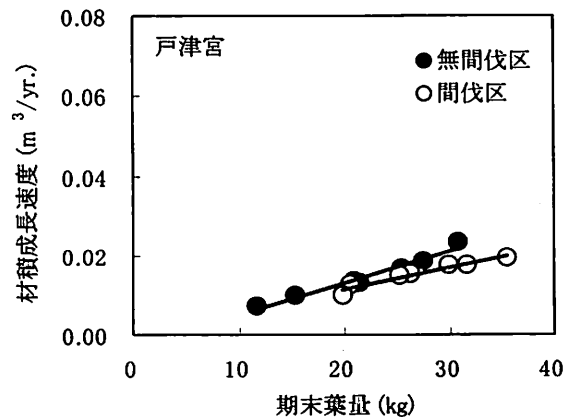
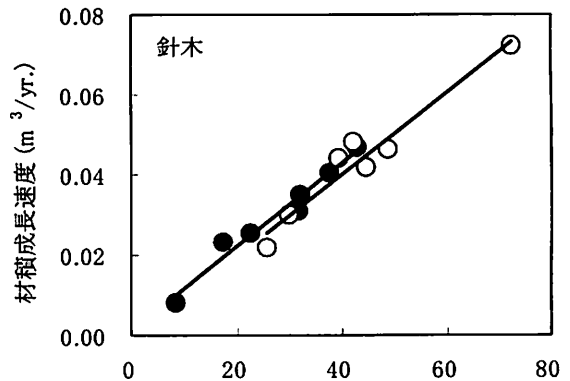


図-8 期末葉量と材積成長速度の関係

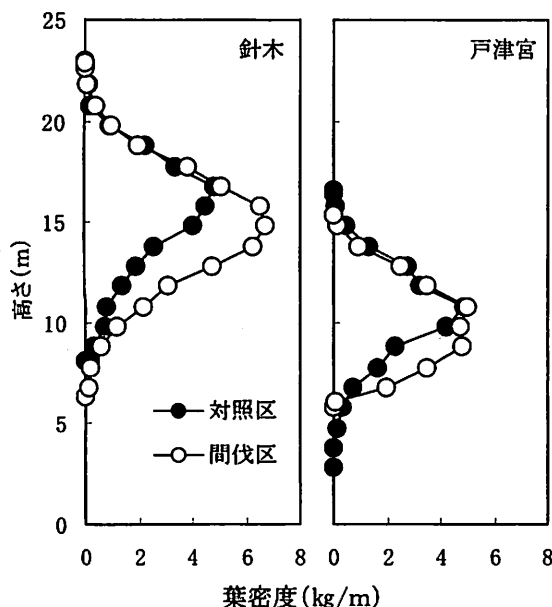


図-9 葉の垂直分布

増加している。一方、戸津宮では期末葉量と材積成長速度の関係は、両区間で分離し（共分散分析、 $p < 0.01$ ）、間伐によって葉量は増加しているものの、材積成長速度の増加には結びついていない（図-8）。

3.5 葉の垂直分布

伐倒調査時の葉の垂直分布を調査木各7本の平均で比較してみると（図-9）、針木では間伐区において樹冠下部における枯れ上がりが抑制されるとともに、最大葉量層の葉密度も増加し、間伐区の葉量は無間伐区の1.54倍になっている。一方、戸津宮でも無間伐区に比べて間伐区で葉量が1.38倍大きくなっているが、それは主に樹冠下部における枯れ上がりの抑制によるもので、最大葉量層の葉密度の増加は認められない。

3.6 林分の現存量と材積成長量

伐倒調査を行って求めた相対成長関係から、現存量や材積成長量を算出し林分単位で比較してみる（表-2）。地上部重に占める割合でみると、両林分とも間伐区で枝と葉の値が大きくなり、林分の構造が異なってきたことが分かる。ただし、現存量で比較すると針木では枝や葉の値が間伐区と無間伐区でほぼ同じになっている。一方、戸津宮では間伐区の枝や葉の現存量が、無間伐区と比べて少ない。間伐後の平均材積成長量を比較すると、針木では両区間でほぼ同じ値となり、間伐は林分材積成長量を低下させていないが、戸津宮では間伐区で明らかに小さく、間伐率30%以下の間伐であったにもかかわらず、間伐5年後まででみる限り間伐が林分材積成長量を低下させたことになる。林分材積成長量を林分葉量で割った値である、葉の幹生産能率を比較すると、針木では間伐区で無間伐区より大きい値を示している。一方、戸津宮では間伐区の値は無間伐区を下回っている。つまり、針木では間伐区で林分葉量が回復するとともに、光の利用効率も高くなっているのに対して、戸津宮では間伐区で葉量も少なく、光の利用効率も低いことになる。

3.7 戸津宮の下層植生と相対散乱光

戸津宮の下層植生の現存量は、間伐区では同化部分が1.25ton/ha、非同化部分が3.69ton/ha、合計で4.93ton/haであった。無間伐区では同化部分が0.18ton/ha、非同化部分が0.44ton/ha、合計で0.62ton/haであった。相対散乱光は、間伐区では20.4%、無間伐区では7.6%であった。間伐区では無間伐区と比べて、下層植生の現存量が約8倍、相対散乱光の値は約2.7倍であった（表-3）。

表-2 林分の現存量と材積成長量

		針木		戸津宮		
		間伐区	無間伐区	間伐区	無間伐区	
乾重量現存量	ton/ha	幹	166.8 (75.7)	221.9 (80.9)	99.6 (70.7)	146.7 (74.6)
		枝	19.9 (9.0)	19.9 (7.3)	14.3 (10.1)	17.3 (8.8)
		葉	33.6 (15.2)	32.6 (11.9)	27.0 (19.2)	32.6 (16.6)
		地上部	220.2	274.4	140.9	196.6
間伐後の平均材積成長量	$m^3/ha \cdot yr$	30.0	30.7	14.9	21.5	
材積成長量	$m^3/ha \cdot yr$	29.1	27.1	17.3	23.0	
葉の幹生産能率	$m^3/ton \cdot yr$	0.87	0.83	0.64	0.70	
収量比数		0.62	0.81	0.50	0.78	

カッコ内の数字は、地上部現存量に占める各部位の現存量の割合(%)。

表一 3 戸津宮の下層植生の現存量と相対散乱光

		間伐区	無間伐区
下層植生の現存量 (ton/ha)	同化部	1.25	0.18
	非同化部	3.69	0.44
	合計	4.93	0.62
相対散乱光 (%)		20.4	7.6

4. 考察

期首直径と間伐後5年間の定期直径成長量の関係を比較したところ、生育状況が良好な針木では間伐区と無間伐区で明らかな違いが認められたのに対して、戸津宮ではそれらの間に有意な違いは認められなかった。その結果、直径階分布で比較してみると、大きい直径階に含まれる個体数が針木では増加しているのに対して、戸津宮では変わりがなく、生育状況の異なる林分で、間伐効果が明らかに異なるものと考えられた。成長が良好な林分では、間伐によって幹、とくに樹幹下部の肥大成長が促進され、形状比の増加を抑制することが出来た。冠雪害を抑制するためには、カワイダニスギの場合、形状比を65以下にすることが望ましいといわれている（小谷，2005）。そのことからすると両林分ともその値を満たしていないが、とくに、成長が良好な林分では樹高成長が旺盛であり、形状比は大きくなりやすい傾向にあるから、間伐により形状比の上昇を抑制することは、冠雪害に対する林木の抵抗性を高めるために有効であり重要な施業と考えられる。

間伐前後の個体材積成長速度の変化をみると、間伐した翌年には両試験地とも間伐効果は認められない。しかし、2年目以降は成長が良好な針木で、間伐区における個体材積成長速度が、無間伐区に比べて大きくなっている。また、その傾向は3年目以降さらに強まっている。戸津宮においては間伐区の個体葉量は無間伐区と比べて大きくなっているが、個体材積成長速度の変化をみると間伐効果は明瞭ではなかった。樹冠の構造をみると、針木では間伐区においては樹冠下部における枯れ上がりが抑制されるとともに、最大葉量層の葉密度も増加している。戸津宮では無間伐区に比べて間伐区で葉量が大きくなっているが、それは主に樹冠下部における枯れ上がりの抑制によるもので、最大葉量層の葉密度の増加は認められない。このため、針木では光をより多く獲

得・利用できるように、林分構造が変化したと考えられるが、戸津宮における林分構造の変化は、葉量は増加したものの、光の獲得・利用量の増加は限られたものであると考えられる。このように、間伐効果が間伐直後には現れず、2年目以降に成長が良好な林分で現れたことは、カワイダニスギにおける間伐効果が、間伐によって残された個体が獲得・利用できる光の量が増加したことよりも、間伐によって生じた空間に残った個体が枝葉を伸長し、光をより多く獲得・利用できるようになったことによるものであると考えられた。そのため、林分の成長の良否によって間伐効果も異なると考えられる。この結果は、これまでの間伐メカニズムに対する主要な理解と一致するが、間伐直後から単位葉量あたりの成長効率が高くなったことによって、間伐効果が発揮されたとする、北海道のヨーロッパトウヒを対象とした調査の結果とは異なる（梅木，2001）。

林分現存量を見てみると、両試験地とも間伐区で枝・葉への現存量の分配が大きくなっている。この反応は樹種に関わらず間伐後にみられる一般的な反応で（Smithら，1997など）、樹木の材としての利用価値を下げる負の効果ともいわれる。また、枝や葉への投資が増えることで、間伐林分の林分幹材積成長量を無間伐林分より低下させるとの指摘もある（Smith and Long，1989；Long and Smith，1990）。また、北海道のヨーロッパトウヒを対象とした調査では、間伐によって大きくなった樹冠で生産された余分の光合成産物の多くが、枝や根の成長と維持に分配された可能性が指摘されている（梅木，2001）。戸津宮については、間伐区で枝・葉への現存量の分配が大きくなっているのに対して、林分幹材積成長量は無間伐区に劣り、そのような傾向が伺える。一方、針木では間伐区で枝・葉への現存量の分配が大きくなるとともに、間伐区の林分幹材積成長量は無間伐区とかわらず、そのような指摘はあたらないと考えられる。

以上のように、カワイダニスギ人工林における間伐効果は、間伐によって生じた空間に、残った個体が枝葉を伸長し、光をより多く獲得・利用できるようになることで成長量を増加することが主体であると考えられた。また、カワイダニスギ若齢林は一般のスギと比べて、地上部現存量に占める枝、葉の割合は大きく、葉の幹生産能率は小さいという特徴を

もつ（相浦，2002）。このため，間伐後の林分材積成長量の回復には，まず林分葉量を増加することが，一般のスギと比べてもより重要になると考えられる。こうしたことから，間伐効果は林分の成長の良否によって異なり，生育の良好な針木では比較的速やかに林分葉量を回復し，大きくなった樹冠で生産された光合成産物は，枝などの成長と維持に分配されるときともに，幹の成長にも分配されたものと考えられた。このことによって，より大きな個体をより多くもった林分にできるだけ早く誘導するという間伐の目的が達成され，林分幹材積成長量としても無間伐区と変わらない値となった。一方，成長のやや劣る戸津宮では，林分葉量の回復が遅れ，間伐から5年後までに明瞭な間伐効果が認められなかったものと考えられた。

ただし，本調査は間伐後5～7年間での結果であり，間伐直後は無間伐林分に比べて間伐林分で林分成長量が劣っていても，間伐後5年以降には逆転して間伐林分の方が優勢になることが多いとも報告されている（細田ら，2005）。成長がやや劣り間伐効果が認められなかった戸津宮では，無間伐区の収量比数が0.78とやや過密になりつつあるのに対して，間伐区の収量比数は0.50で間伐によって生じた空間がまだ残されていると考えられ，今後間伐効果が発揮される可能性も否定できない。また，戸津宮の間伐区では，間伐後5年経過しても相対散乱光は20%以上の値が維持され，下層植生も無間伐区と比べると明らかに繁茂している。一方，先にも述べたように無間伐区はやや過密になりつつあり，今後，下層植生がさらに減少していくとともに，立木の形状比が増加していく可能性も高いと考えられ，間伐効果を判断するにはさらに調査を継続する必要があると思われる。

5. おわりに

カワイダニスギ人工林の場合，間伐は成長が良好な林分においてはその経済的な価値を高めるうえで，有効な施業であると考えられる。一方，成長がやや劣る林分においては，山地災害防止や水源かん養などの多面的機能の発揮や，冠雪害に対する林木の抵抗性を高め，森林を健全に維持するために必要な施業と考えられる。また，このように林分の成長の良否によって，発揮される間伐効果が異なることも予

想されることから，森林を有効に活用していくために，林分ごとに将来の利用や更新方法が検討され，それぞれに適した間伐方法が開発，実施されることが望まれる。

最後に，この調査を行うにあたりご協力いただき，試験地を快くご提供いただいた富山県農林水産公社の皆様にご感謝申し上げます。また，現地調査の実施に多大なるご協力をいただいた，富山県森林政策課，各農地林務事務所，林業技術センター林業試験場の皆様にご厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 相浦英春：カワイダニスギ若齢林の成長と生産力，富山林技セ研報15，1-12（2002）
- 2) 細田和男，家原敏郎，松本光朗，小谷英司：間伐は人工林のバイオマス成長を促すか？，平成16年度研究成果選集，26-27（2005）
- 3) 石田 仁：デジタル全天写真を用いた相対散乱光の推定，第114回日林論，650，（2003）
- 4) 石田仁：富山県の天然林とその管理—基礎編—，146pp，富山林技セ研報17（別冊）（2004）
- 5) 気象庁：気候値メッシュファイル（降水量）作成調査の報告，測候時報52，357-378（1985）
- 6) 気象庁：気候値メッシュファイル（積雪）作成調査の報告，測候時報56，297-305（1989）
- 7) 小谷二郎：カワイダニスギの冠雪害の特徴と対策，雪と造林14，33-36（2005）
- 8) Long, J.N. and Smith, F.W.: Determinants of stemwood production in *Pinus contorta* var. *latifolia* forest: the influence of site quality and stand structure. *Journal of Applied Ecology* 27, 847-856（1990）
- 9) 岡村敏夫，和田高秀，林 泰彰：気候値メッシュファイル（気温）作成調査の報告，測候時報56，1-16（1989）
- 10) Smith, D.M., Larson, B.C., Kelly, M.J., Ashton, P.M.S.: *The practice of silviculture: Applied forest ecology*, 47pp, John Wiley & Sons, New York（1997）
- 11) Smith, F.W. and Long, J.N.: The influence of canopy architecture on stem wood production and growth efficiency of *Pinus contorta* var. *latifolia*, *Journal of Applied*

- Ecology 26, 681-691 (1989)
- 12) 滝谷美香, 梅木 清, 小山浩正, 寺沢和彦: ウダイカンバ間伐試験地における葉量および林分構造の10年間の推移, 日林北支論44, 86-88 (1996)
- 13) 梅木 清: ヨーロッパトウヒ間伐試験地の林分成長と間伐の個体成長・形態に対する影響, 北海道林試研報38, 37-46 (2001)

Summary

The growth of the stands and individuals and the effects of thinning were investigated in two Kawaidani-sugi (*Cryptomeria Japonica* D.Don) stands at Harinoki and Totsumiya in Himi city. A thinned and an unthinned plot were established for both stands in a 23-year old stand. The growth conditions differed between the two stands, and the site indexes were estimated as 25 for Harinoki and 18 for Totsumiya. Seven sample individuals were cut off in every plot 7 years after thinning in Harinoki and 5 years after that in Totsumiya, and stem analysis was performed. The biomasses for stems, branches and leaves were weighed independently using the stratified clipping method. After thinning, the DBH and tree height of all trees were measured in each plot once every year or two years. The diameter increment was significantly larger in the thinned plot than that in the unthinned plot at Harinoki, whereas there was no statistically significant difference between the thinned and unthinned plots at Totsumiya. The effect of thinning at Harinoki was not evident in the first year after thinning. The stem volume growth rate in the thinned plot became larger than that in the unthinned plot in the second year after thinning. The difference between the two plots increased after the third year. The branch and leaf biomasses in the thinned plot recovered to the same degree as that in the unthinned plot at 7 years after thinning at Harinoki. From these results, it was concluded that the principal effects of thinning on the Kawaidani-sugi plantation were that the branches and the leaves of the remaining trees elongated in the gaps formed by thinning, and the leaf biomass allocation changed to enable receipt and use of more sunlight, thus increasing the amount of growth. Therefore, the effects of thinning varied according to the stand growth conditions.