

スギ人工林における根張りの特質と選木指標としての妥当性

新田 響平・金子 智紀
林業研究研修センター環境経営部

The Character of root zone and the validity that it is index for determining trees in Sugi (*Cryptomeria japonica*) plantation.

Kyohei Nitta・Tomonori Kaneko
Akita Forestry Research and Training Center

要 旨

スギ人工林の伐期の延長に伴い、高樹齢化に対応した間伐技術が求められている。本研究ではその選木基準の一つとして「根張り」の有効性を検証することを目的に、スギ人工林 21 林分の根張りサイズと林分構成各因子との関係について、林分および個体レベルで解析した。その結果、根張り直径は樹高や胸高直径との間に正の相関が認められる林分が多数を占めた。また、解析に供した 7 割以上の林分で、根張りがより大きい個体ほど成長量大きい傾向が確認された。さらに根張り形状比との間には負の相関が認められ、根張り直径が大きい個体ほど形状比が低くなる傾向を示した。以上のことから、根張りは高齢スギ人工林における成長の持続性や気象害への耐性を表徴しており、間伐の実施において簡易かつ実用的な選木指標になり得ると考えられた。

I. はじめに

本県の民有スギ人工林は 9～10 齢級、すなわち 41～50 年生の林分面積が最も多い（約 31%）資源構成となっており（秋田県農林水産部，2014），収穫利用の時期を迎えている。しかし，林業経営上の理由から伐期を延長する事例が増加し，平成 26 年時点で標準伐期である 50 年生を超えるスギ人工林面積は全体の 32%を占めるほどになった。このような現状から，高齢スギ人工林を今後どのようにして管理していくのが重要な課題となっている。ただし，ここで問題としている高齢スギ人工林は，弱齢な段階から高齢林を目指して管理する日本の伝統的な長伐期施業（例えば吉野林業）とは性格を異にしている（遠藤，2006）。つまり，従来の長伐期施業において培われた技術や経験をそのまま適用することは難しく，伐期の延長によって生まれる高齢スギ人工林に対応した新たな管理技術が必要であることを意味する。

スギ高齢林の取り扱いを定めるためには，成長特性（具体的には何年でどの程度の大きさになるのか）といった情報が不可欠である。近年まで標準伐期である 40～60 年を超えるスギ人工林の成長経過は不明であったが，高齢林（80 年生以上）の人工林でも成長が衰えない事例（大住ら 2000；竹内 2005）が報告された。これを受けて，高齢スギ人工林を念頭に置いた地位指数曲線や林分収穫予想表の修正

が各地で実施された（澤田，2004；長濱・近藤，2006；小谷・千木，2006；島田，2010 など）。その結果，現在では高齢スギ人工林の収穫量を，一定の精度をもって予測することが可能となっている。

高齢スギ人工林の収穫予測が可能となったため，次の段階として，より具体的な管理手法についての検討が必要である。管理手法といっても換言すれば「いつ，どの木を伐って，どの木を残すのか」という間伐技術に他ならない。特に人工林の高樹齢化に伴って，間伐技術は林分管理技術から個体管理技術に移行する（森林総合監理士（フォレスター）基本テキスト作成委員会 2014）とされることから，間伐時の選木基準が管理技術の要と考えられる。

既存の研究では，光合成器官である葉量や樹冠サイズ（樹冠長，樹冠半径，樹冠長率など）が個体成長に影響する選木の基準として注目されている。高橋・竹内（2007）は吉野林業地における調査事例から，高齢林分にまで適用できる選木の指標として陽樹冠直径を用いることは実用的であるとしている。また，澤田（2004）は高齢級の各個体の成長を十分確保するという点において，樹冠幅を樹高の20%以上確保することが必要であるとしている。しかし，現場レベルにおいて樹冠直径を迅速かつ正確に測定するのは難しく，現実的ではない。また藤森（2010）はスギ高齢林では樹冠長率50%以上を目指すことを推奨している。しかし，適正に密度管理された高齢林ならばいいが，間伐が遅れ，樹冠長率が低くなってしまった林分では，それを選木の基準とすることは難しいと考えられる。さらに樹冠サイズは樹高や直径といった個体サイズに影響を受けるとされる（田中，1992；竹内，2005）。個体サイズは樹冠サイズに比較すると容易に測定可能であるが，特に樹高の測定は樹高30mを超える高齢スギ人工林においては調査効率の低下につながる。したがって，個体の成長面の持続性を考慮するならば，現場レベルにおいて胸高直径が最も簡易な選木指標の一つとなると考えられる。

一方，伐期の延長は気象害のリスクもそれだけ増加することから，選木基準については成長の確保とともに気象害に対する耐性も考慮する必要がある。このとき，選木指標の候補として形状比が考えられる。一般に形状比が高いほど風倒害や冠雪害を受けやすいとされ，特に冠雪害に対しては形状比を70未満にすることが必要とされる（石井ら，1983；國崎，2005）。さらに國崎・松井（2011）は直径成長と形状比の関係から，高密高齢林から主伐候補木を選定する一つの基準として，冠雪害の耐性基準値である形状比70未満を用いることが有効であるとしている。しかし，形状比は樹高と直径から算出される指標であることから，樹高測定という点において調査効率が高いとはいえない。これらのことから胸高直径のように成長の持続性と関係があり，かつ単独でも形状比のように気象害に対する耐性と関係が深いという特性をもつ，より簡易で管理上有効な新しい選木指標が必要である。そこで著者が注目したのが「根張り」である。

「根張り」は，一般に地下の根系から地上の樹幹へ移行する地際部分を指すが，本研究では特に地上部に露出した根系の分布範囲を根張りとして定義する。この部分は養水分の吸収を担う根系と地上部をつなぐ役割を持つとともに，巨大な地上部を支持する重要な部位である。また根張りを含む根株のサイズは引抜抵抗と密接な関係があることが指摘されている（塚原ら，1975）ことから，土砂災害防止といった森林の公益的機能の発揮に寄与する側面も持つといえる。それにも関わらず，これまで根張りそのものの特性や個体の成長に及ぼす影響などについてはほとんど注目されてこなかった。この外見上の特徴である根張りとは個体の成長や気象害に対する耐性との関係が確認されれば，より簡易な

選木基準が得られると考えられる。そこで、本研究では高齢スギ人工林の根張りと個体のサイズおよび成長量などとの関係を調査・解析し、間伐における選木指標としての有効性を検討した。

なお、本研究は、県単研究課題「100年秋田スギを目指す新たな生産技術の開発」において実施した。

II. 方法

1. 調査地

調査地は秋田県内の23～150年生のスギ人工林21林分である(表-1及び図-1)。標高は44～416m, 斜面傾斜は3～36度であった。定期材積成長量を把握するため、澤田(2004)で調査を実施した10林分においては以前の調査プロットを復元し再調査を実施した。また秋ノ宮1～3は、2012年と2013年の2回調査を実施した。これら13林分については個体識別ができた個体を対象として成長量解析に供した。

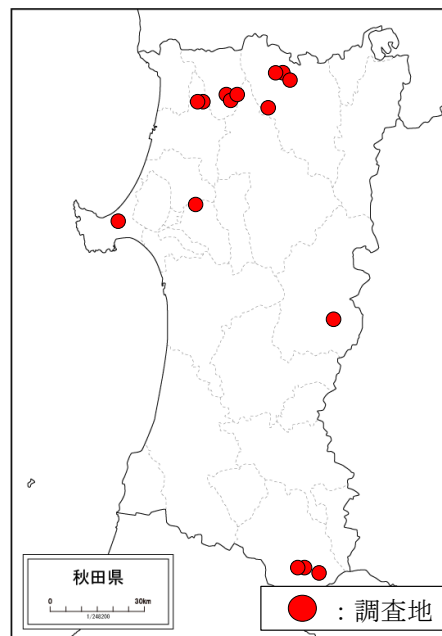
2. 調査・解析方法

調査地の設定は林齢と樹高に応じて、一辺が10～50m, 面積200～5,000m²の方形プロットとし、調査は2012年～2014年に実施した。調査項目は樹高、胸高直径、枝下高、及び根張りである。また同時に諸被害及び被圧の有無についても記録した。樹高及び枝下高はインパルス(LASER TECHNOLOGY社)を用いて測定した。枝下高は斜面上部と下部の2箇所測定し、その平均をその個体の枝下高とした。胸高直径は地上高1.2mにおいて直径巻尺により測定した。根張りは、地上部に露出した根系の分布範囲を測定対象とした(写真-1)。測定は斜面に向かって上下左右4方向に位置する幹から根系の地上露出部までの最大水平距離を地上高1.2mで計測した(図-2)。

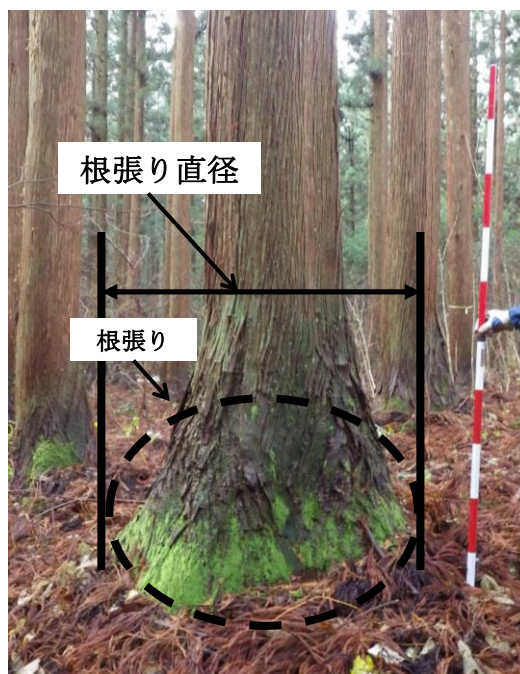
解析に際しては、まず調査林分における地位を把握するため、被害木や被圧木を除く上層木平均樹高を算出し、秋田県森林技術センター(2013)による樹高曲線と比較した。樹冠長率は枝下高によって算出した($(\text{樹高} - \text{枝下高}) / \text{樹高} \times 100$)。根張りは上下方向と左右方向の測定値それぞれの合計値に胸高直径値を足し、縦根張り直径と横根張り直径を算出した。根元曲がりの影響を把握するため、縦横2方向の根張り直径それぞれの平均値をマン・ホイットニーのU検定により比較した。また、胸高直径に対する相対的な根張りのサイズを把握するため、縦横それぞれの相対根張り直径(根張り直径/胸高直径)を算出した。その後、林分レベルにおける根張りの特性を明らかにするため、算出された縦横2方向の根張り直径と林齢、樹高・胸高直径・樹冠長率・形状比の平均値及び収量比数とのスピアマンの順位相関係数を算出した。さらに選木指標としての可能性を検討するため、個体レベルでの根張り直径と樹高・胸高直径・形状比・樹幹長率及び定期材積成長量($(\text{直近個体材積} - \text{過年度個体材積}) / \text{調査時年数の差}$)との相関分析を実施した。個体レベルでの解析においては、根元曲がりの影響を排除するため、横根張り直径を解析対象とした。また、個体識別ができなかった個体や枯死個体は解析から除外した。解析にはExcel(Microsoft社)及びSPSS Statistics(IBM社)を用いた。

表－1 調査林分概要

No.	調査地名	市町村	林齢 (年)	標高 (m)	傾斜 (°)	成長量 解析	調査年
1	五里合	男鹿市	105	44	8	○	2012
2	粕毛1	藤里町	100	105	27	○	2012
3	粕毛2	藤里町	115	105	20	○	2012
4	家後	藤里町	115	49	8	○	2012
5	黒森	三種町	106	240	13	○	2012
6	谷地1	藤里町	74	50	20	○	2013
7	谷地2	藤里町	74	50	20	○	2013
8	秋ノ宮1	湯沢市	84	379	3	○	2013
9	秋ノ宮2	湯沢市	100	372	15	○	2013
10	秋ノ宮3	湯沢市	150	365	26	○	2013
11	刺巻	仙北市	144	200	15	○	2013
12	秋ノ宮4	湯沢市	43	378	3	○	2013
13	粕毛3	藤里町	51	107	5	○	2013
14	粕毛4	藤里町	23	140	36	○	2013
15	岩ノ目沢	北秋田市	103	170	32	○	2014
16	田代薄市	大館市	107	238	10	○	2014
17	平滝1	大館市	62	313	6	○	2014
18	平滝2	大館市	56	416	12	○	2014
19	平滝3	大館市	56	409	10	○	2014
20	常盤1	能代市	100	136	7	○	2014
21	常盤2	能代市	100	195	10	○	2014

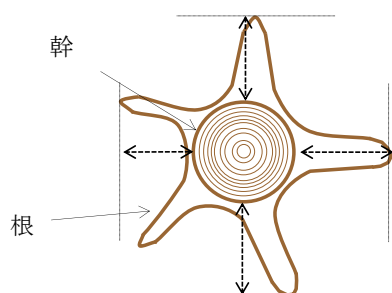


図－1 調査位置図



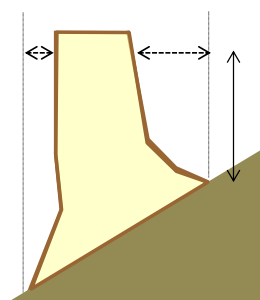
写真－1 87年生スギ高齢林の根張り
(秋田県湯沢市秋ノ宮)

測定平面図



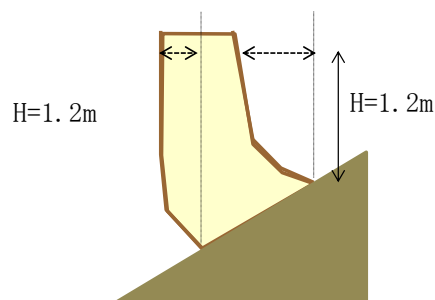
測定縦断図 1

(根元曲がりがない場合)



測定縦断図 2

(根元曲がりがある場合)



※斜面下側の測定値はマイナス

図一 2 根張りの測定模式図

図中の点線両端矢印が測定範囲

III. 結果

1. スギの生育と根張り

各調査地におけるスギの林分成績及び根張りを表一 2 に示す。調査地の平均樹高は 16.2~41.5 m, 平均胸高直径は 21.6~72.4 cm, 樹冠長率は 24.8~63.9% であった。林分材積は 448.9~1,701.5 m³/ha であった。立木密度は 140~1,500 本/ha, 収量比数は 0.48~0.92 であり, 疎な林分から密な林分まで多様であった。

根張り直径は斜面に対して縦方向で 64.2~185.9cm, 横方向で 46.2~177.3cm であり, 林分により大きく異なった。また各林分の根張り直径の標準偏差についても多様であり, 五里合や秋ノ宮 3 のようにばらつきが大きい林分も見られた。調査林分のうち 7 箇所では横よりも縦の根張り直径の方が有意に大きかった。一方で相対根張り直径は, 縦方向で 2.1~3.0, 横方向で 1.8~2.7 であった。

調査林分について林齢と上層木平均樹高との関係を秋田県民有スギ人工林の樹高曲線 (秋田県森林技術センター, 2013) とともに図一 3 に示す。これによると調査地はどの林分も地位 3 等以上で, 比較的スギの生育に適した立地条件であった。

表一 2 調査林分毎のスギの生育状況

調査地名	林齢	樹高				胸高直径				樹幹長率				林分材積				立木密度				収量比数				根張り直径				相対根張り直径					
		樹高		(mean±sd)		胸高直径		(mean±sd)		樹幹長率		%		林分材積		(m ³ /ha)		立木密度		(本/ha)		収量比数		(mean±sd)		cm		縦方向		(mean±sd)		横方向		(mean±sd)	
		樹高	(mean±sd)	胸高直径	(mean±sd)	樹幹長率	(%)	林分材積	(m ³ /ha)	立木密度	(本/ha)	収量比数	(mean±sd)	縦方向	(mean±sd)	横方向	(mean±sd)	縦方向	(mean±sd)	横方向	(mean±sd)	縦方向	(mean±sd)	横方向	(mean±sd)	縦方向	(mean±sd)	横方向	(mean±sd)	縦方向	(mean±sd)	横方向	(mean±sd)		
1 五里合	105	29.7 ± 6.4	72.4 ± 27.8	56.7 ± 12.1	1,320.2	250	0.50	185.9 ± 55.9	177.3 ± 57.4	n=14	U=	91.5	2.9 ± 0.9	2.7 ± 0.9																					
2 粕毛1	100	35.3 ± 6.1	66.2 ± 15.6	41.5 ± 10.6	1,092.5	210	0.52	143.3 ± 37.3	133.1 ± 39.3	n=42	U=	743.0	2.2 ± 0.3	2.0 ± 0.4																					
3 粕毛2	115	33.2 ± 3.1	60.3 ± 9.5	37.1 ± 8.8	801.3	200	0.48	134.3 ± 26.4	129.4 ± 29.0	n=41	U=	760.5	2.2 ± 0.4	2.1 ± 0.3																					
4 家後	115	35.3 ± 2.5	54.7 ± 9.3	52.8 ± 9.0	1,166.4	320	0.65	124.3 ± 31.8	119.0 ± 24.8	n=32	U=	504.0	2.3 ± 0.4	2.2 ± 0.3																					
5 黒森	106	34.5 ± 2.5	51.3 ± 8.1	36.7 ± 7.0	1,041.8	325	0.65	126.6 ± 26.2	120.2 ± 18.9	n=29	U=	418.5	2.5 ± 0.4	2.4 ± 0.3																					
6 谷地1	74	31.9 ± 2.6	54.0 ± 7.9	49.2 ± 6.6	1,074.2	340	0.63	119.3 ± 22.3	112.2 ± 22.6	n=17	U=	114.0	2.2 ± 0.3	2.1 ± 0.2																					
7 谷地2	74	30.4 ± 2.0	55.7 ± 8.2	48.1 ± 4.4	807.8	260	0.51	118.7 ± 23.5	107.2 ± 20.1	n=11	U=	47.0	2.1 ± 0.2	1.9 ± 0.3																					
8 秋ノ宮1	84	33.8 ± 2.9	46.8 ± 8.8	35.4 ± 10.1	1,560.6	575	0.83	109.0 ± 27.4	103.4 ± 28.7	n=58	U=	1604.5	2.3 ± 0.3	2.2 ± 0.4																					
9 秋ノ宮2	100	39.0 ± 3.2	65.8 ± 11.3	54.6 ± 8.4	1,250.4	225	0.58	153.8 ± 25.8	150.5 ± 28.0	n=44	U=	884.0	2.4 ± 0.3	2.3 ± 0.3																					
10 秋ノ宮3	150	30.5 ± 11.3	58.9 ± 29.3	44.6 ± 12.2	1,586.7	335	0.70	123.8 ± 66.3	113.7 ± 68.5	n=57	U=	1530.0	2.2 ± 0.6	1.8 ± 0.5																					
11 刺巻	144	41.5 ± 3.4	63.2 ± 11.6	54.1 ± 17.2	1,701.5	305	0.72	132.9 ± 29.5	127.7 ± 29.0	n=56	U=	1324.0	2.1 ± 0.4	2.0 ± 0.3																					
12 秋ノ宮4	43	22.5 ± 3.0	28.8 ± 5.8	24.8 ± 7.9	997.0	1,320	0.92	75.9 ± 21.5	69.4 ± 18.6	n=66	U=	1735.0*	2.6 ± 0.5	2.4 ± 0.6																					
13 粕毛3	51	28.5 ± 2.6	36.3 ± 6.7	33.9 ± 6.0	751.8	511	0.71	81.8 ± 20.9	80.9 ± 19.3	n=46	U=	1054.0	2.3 ± 0.5	2.2 ± 0.4																					
14 粕毛4	23	16.2 ± 1.9	21.6 ± 3.8	38.1 ± 7.3	456.4	1,500	0.81	64.2 ± 10.2	46.2 ± 12.8	n=30	U=	105.5**	3.0 ± 0.5	2.1 ± 0.6																					
15 岩ノ目沢	103	31.4 ± 3.0	52.0 ± 10.2	38.2 ± 9.7	448.9	150	0.37	129.4 ± 28.2	113.4 ± 23.3	n=15	U=	83.0	2.5 ± 0.4	2.2 ± 0.4																					
16 田代薄市	107	31.8 ± 7.2	58.4 ± 15.0	52.4 ± 7.5	543.4	140	0.37	144.9 ± 26.9	137.5 ± 30.4	n=54	U=	297.0	2.5 ± 0.5	2.3 ± 0.5																					
17 平滝1	62	27.5 ± 3.6	40.4 ± 9.9	39.7 ± 9.4	827.6	480	0.67	105.7 ± 28.5	91.6 ± 26.9	n=92	U=	3018.0**	2.6 ± 0.5	2.3 ± 0.5																					
18 平滝2	56	23.4 ± 2.7	34.0 ± 8.6	32.1 ± 7.9	889.5	833	0.78	99.0 ± 31.4	72.6 ± 27.4	n=96	U=	2407.0**	2.9 ± 0.5	2.1 ± 0.6																					
19 平滝3	56	25.2 ± 3.1	34.1 ± 8.3	33.9 ± 7.8	873.8	742	0.78	92.6 ± 24.3	74.9 ± 26.0	n=88	U=	2348.0**	2.7 ± 0.6	2.2 ± 0.5																					
20 常盤1	100	38.5 ± 1.7	55.7 ± 6.7	25.7 ± 4.3	1,410.2	345	0.72	128.0 ± 22.5	120.7 ± 20.7	n=69	U=	1868.0*	2.3 ± 0.3	2.2 ± 0.3																					
21 常盤2	100	39.3 ± 1.9	62.8 ± 8.3	63.9 ± 1.9	1,642.3	322	0.70	142.8 ± 20.8	129.3 ± 23.8	n=29	U=	289.0*	2.3 ± 0.3	2.1 ± 0.3																					

はp<0.05、*はp<0.01で有意であることを示す。

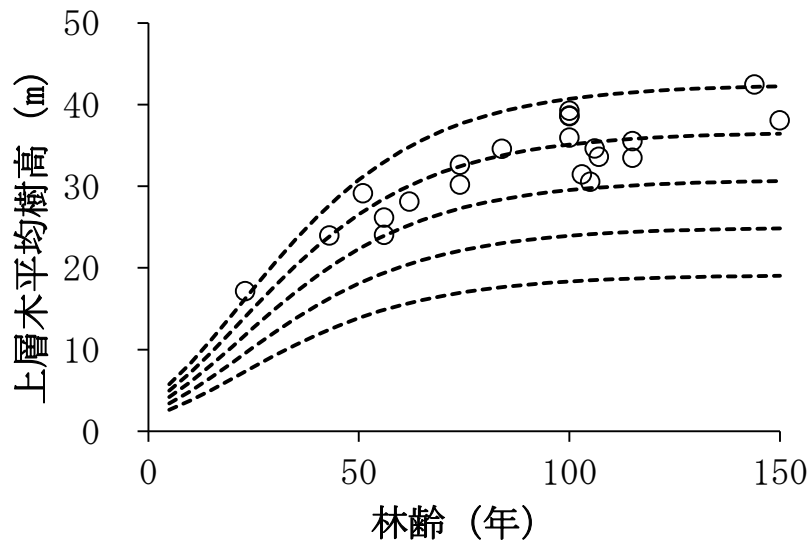


図-3 林齢と上層木平均樹高との関係

図中の点線は秋田県森林技術センター（2013）による樹高曲線

2. 根張り と 林分構成因子 との相関分析（林分レベル）

縦横 2 方向の林分の平均根張り直径及び相対根張り直径と、林齢をはじめとする林分構成因子との相関分析の結果を表-3に示す。平均根張り直径は斜面に対する方向にかかわらず、林齢の増加とともに大きくなる傾向が見られた。同様に平均樹高や平均胸高直径、平均樹冠長率においても正の相関が確認された。一方、平均根張り直径は形状比と収量比数との関係においては斜面に対する方向にかかわらず負の相関が認められ、根張り直径が大きいほど形状比や収量比数は小さくなっていった。

相対根張り直径のうち、斜面横方向ではどの要因においても有意な相関は認められなかった。一方、斜面縦方向では林齢や平均樹高、平均胸高直径との間に有意な負の相関が認められたが、形状比、樹冠長率、収量比数とは関係が認められなかった。

3. 根張り と 林分構成因子 との相関分析（個体レベル）

根張りについて雪圧による根元曲がりの影響を排除するため、横根張り直径及び相対横根張り直径を採用し、個体サイズ（樹高、胸高直径）、形状比及び樹冠長率とのスピアマンの順位相関係数 r_s を算出した（表-4）。その結果、樹高においては 21 林分中 19 林分、胸高直径においては 21 林分中 20 林分で横根張り直径との間に有意な正の相関が認められた。また、形状比については 21 林分中 17 林分で有意に負の相関が認められ、横根張り直径は個体サイズや幹形と相関が高いと判断された。しかし、樹幹長率との関係では相関が確認された林分は 21 林分中 9 林分で、正負両方の関係が見られるなど明確な相関関係は認められなかった。

相対横根張り直径と各因子との関係は、横根張り直径の場合と比較して相関が確認された林分が少なく、樹高では3林分、胸高直径と形状比では4林分のみであった。また、樹幹長率で有意な相関が見られた林分は皆無であった。

表-3 2方向の根張り直径及び相対根張り直径と林齢や個体サイズ、樹冠長率及び収量比数とのスピアマンの順位相関係数 r_s (n=21)

	根張り直径		相対根張り直径	
	横方向	縦方向	横方向	縦方向
林齢	0.75 **	0.73 **	-0.11	-0.46 *
樹高	0.72 **	0.69 **	-0.15	-0.61 **
直径	0.93 **	0.91 **	-0.18	-0.52 *
形状比	-0.78 **	-0.79 **	0.21	0.40
樹冠長率	0.65 **	0.67 **	-0.13	-0.28
収量比数	-0.67 **	-0.71 **	-0.05	0.25

※*は $p<0.05$ 、**は $p<0.01$ で有意であることを示す。

表-4 斜面横方向の根張り直径及び相対根張り直径と各指標とのスピアマンの順位相関係数 r_s

調査地	n	横根張り直径				相対横根張り直径			
		樹高	胸高直径	形状比	樹冠長率	樹高	胸高直径	形状比	樹冠長率
五里合	13	0.62 *	0.58 *	-0.36	0.01	-0.26	-0.62 *	0.66 *	-0.52
粕毛1	42	0.59 **	0.74 **	-0.52 **	0.38 *	0.34 *	0.15	0.07	0.30
粕毛2	41	0.50 **	0.77 **	-0.72 **	0.00	0.04	0.21	-0.25	0.05
家後	32	0.71 **	0.78 **	-0.59 **	0.03	0.20	-0.03	0.20	-0.06
黒森	29	0.49 **	0.73 **	-0.66 **	0.25	-0.07	-0.12	0.14	0.07
谷地1	17	0.39	0.83 **	-0.88 **	0.36	-0.35	0.19	-0.49 *	0.07
谷地2	11	0.24	0.39	-0.37	0.29	0.10	-0.36	0.27	0.14
秋ノ宮1	58	0.61 **	0.79 **	-0.75 **	0.41 **	0.25	0.27 *	-0.23	0.09
秋ノ宮2	44	0.77 **	0.75 **	-0.56 **	0.27	0.08	-0.28	0.48 **	0.02
秋ノ宮3	58	0.82 **	0.94 **	-0.74 **	0.39 **	0.55 **	0.40 **	-0.22	0.07
刺巻	56	0.46 **	0.79 **	-0.66 **	0.23	-0.09	-0.12	0.09	-0.02
秋ノ宮4	66	0.64 **	0.58 **	-0.23	0.54 **	0.08	-0.14	0.34 **	0.05
粕毛3	46	0.49 **	0.58 **	-0.48 **	0.54 **	-0.11	-0.18	0.19	0.01
粕毛4	30	0.48 **	0.49 **	-0.28	0.35 *	0.06	-0.07	0.15	0.08
岩ノ目沢	15	0.68 **	0.78 **	-0.71 **	-0.20	-0.11	-0.03	-0.03	-0.04
田代薄市	27	0.55 **	0.67 **	-0.59 **	0.21	-0.07	-0.16	0.13	0.24
平滝1	92	0.56 **	0.75 **	-0.63 **	0.35 **	0.10	0.02	0.02	-0.02
平滝2	96	0.54 **	0.65 **	-0.59 **	0.44 **	0.03	0.01	-0.01	0.04
平滝3	88	0.78 **	0.83 **	-0.77 **	0.51 **	0.32 **	0.22 *	-0.16	0.16
常盤1	69	0.51 **	0.70 **	-0.62 **	0.13	0.00	-0.03	0.06	0.01
常盤2	29	0.59 **	0.77 **	-0.75 **	-0.11	0.03	0.04	-0.09	-0.23

※*は $p<0.05$ 、**は $p<0.01$ で有意であることを示す。

4. 根張りと材積成長

成長量の解析に供した 13 林分について、個体毎の定期平均材積成長量と横根張り直径及び相対横根張り直径との相関係数を表-5 に示す。また、既存の研究で選木指標とされている樹冠長率も比較のため同時に解析した。その結果、定期平均材積成長量との間に有意な相関が見られたのは 13 林分中樹幹長率が 6 林分、横根張り直径が 11 林分、相対横根張り直径が 3 林分で、いずれも正の相関であった。

表-5 各選木指標と定期平均材積成長量とのスピアマンの順位相関係数 r_s

調査地	調査 間隔	n	樹冠長率	根張り直径	相対根張り直径
五里合	10	13	0.49	0.64 *	-0.53
黒森	10	29	0.28	0.72 **	0.05
谷地 1	9	17	0.59 *	0.57 *	-0.17
谷地 2	9	11	0.09	0.30	-0.28
秋ノ宮 1	1	58	-0.15	0.17	0.10
秋ノ宮 2	2	44	0.13	0.03	-0.14
秋ノ宮 3	2	57	0.33 *	0.77 **	0.06
刺巻	11	56	0.34 *	0.75 **	-0.09
平滝 1	12	92	0.57 **	0.69 **	-0.09
平滝 2	12	96	0.68 **	0.79 **	0.07
平滝 3	12	88	0.68 **	0.83 **	-0.01
常盤 1	16	69	0.22	0.39 **	-0.22
常盤 2	4	29	0.27	0.61 **	-0.01

※*は $p<0.05$ 、**は $p<0.01$ で有意であることを示す。

IV. 考察

1. 根張りの特性

本研究の目的は、高齢スギ人工林における新たな管理技術（選木技術）を開発するため、地位 3 等以上の立地に生育する 23 年生から 150 年生林分の「根張り」を測定し、樹高や胸高直径、樹冠長率などの林分構成各因子との関係解析により、根張りが新しい選木指標として有効かどうかを検証することにある。その前に、まず根張りの持つ意義や特性について整理する。

根張り直径は林齢が高いほどそのサイズが大きくなる傾向が認められた（表-3）。また根張り直径は樹高や胸高直径との間に林分および個体レベルにおいて有意な正の相関が認められた（表-4 および 5）。これらのことは、根張りは加齢に伴ってサイズが大きくなる性質があること、そして、そのサイズは、地上部のサイズと連動していることを示している。一般に樹高成長は主に土地生産力、胸高直径成長は立木密度の影響を受けるとされることから、根張りは立地環境と同時に施

業にも影響される性質を持つと考えられる。

根張り直径において、林齢が高くなると斜面に対する縦方向の相対根張り直径は緩やかに減少する傾向が見られた。これに対し、横方向のそれでは林齢に関わらず2~3の範囲に分布し(表-2)、加齢に伴う胸高直径との関係が根張りの方向によって異なっていた。縦方向における相対根張り直径の低下は、胸高直径と根張り直径との差が少なくなることを意味している。つまり、根張りの成長速度よりも地上部の肥大成長速度のほうが早いといえる。一方で、横方向の根張り直径は加齢に伴い増大するが、高齢化しても根張り直径と胸高直径の比は変化しないことを示している。スギ造林木の根元曲がりには樹木の成長にともない回復することが知られている(安井, 1976; 小野寺, 2003)が、縦方向の根張り直径には雪圧によって形成された根元曲がりの大きさが含まれていると考えられる。このことは、縦方向の根張り直径が比較的若い林分において横方向の根張り直径よりも有意に大きかった(表-2)ことから理解できる。以上のことから根張りは斜面方向において根元曲がりの影響を受けており、根張り直径と胸高直径の相対的な成長速度の違いは根元曲がりの回復によって生じる現象であると推察される。言い換えれば、根元曲がりの影響がなければ、胸高直径に対する根張り直径の比率は、高齢化しても2~3倍程度である可能性が高い。

根張り直径と林分の混み具合との関係では、根張り直径と収量比数との間に負の相関が認められた(表-3)。このことから、根張り直径は個体間競争によって成長が制限されると考えられる。事実、根張り直径と樹高や胸高直径との相関係数を林分および個体レベルで比較すると、多くの場合、胸高直径との相関係数の方が高かった(表-3および4)。したがって、根張りはその立地よりも施業の影響を受けやすいと考えられる。一方で、相対根張り直径と収量比数との間には有意な相関は見られず、相対根張り直径は収量比数にかかわらず概ね2~3の範囲に分布した(表-2および3)。この結果は、地上部の直径成長も根張り同様に制限され、サイズ比が変化しないことを示唆している。つまり、根張りの大きさは林分の施業履歴にかかわらず胸高直径の2~3倍の値に集約すると考えられる。

本研究において明らかとなった根張りの特性についてまとめると次のように考えられる。根張りは地上部サイズと連動しており、立地環境と施業の影響を示す特性を合わせ持つ。根張りは加齢により地上部とともに大きくなるが、胸高直径に対する比率は林齢や立木密度にかかわらず胸高直径の2~3倍であると推定される。また、根張りは立地環境よりも施業の影響を受けており、収量比数によってその成長が制限される。本研究において明らかとなったこれらの根張りの特性は、根張りが新たな選木指標として有効であることを十分に期待させるものであるといえよう。ただし、斜面方向の根張りは、根元曲がりの影響を受けることから、選木の指標としては横方向の根張りを採用すべきと考えられる。

2. 新たな間伐指標としての根張り

高齢スギ人工林の間伐においては、間伐による収益を期待することも重要であるが、最終的な主伐を見越して、成長が見込める健全な個体を残存させることが林業経営の面で、そして土砂災害防備といった森林の公益的機能を発揮する面で重要である。

個体の成長と根張りとの関係を解析した結果、解析に供した 13 林分中 11 林分で根張り直径が大きいほど定期平均材積成長量が大きくなる傾向が確認された（表－5）。有意な相関が見られなかった谷地 2 についてはサンプル数が少なかったため、また秋ノ宮 2 については調査間隔が短いだけでなく、根張り直径のばらつきが小さかったために明確な傾向が確認できなかった可能性がある（表－2）。したがって、根張り直径の大きな個体は成長の持続性が認められるといえる

既存の研究において、樹冠サイズは選木の指標とされている（澤田, 2004; 高橋・竹内, 2007; 藤森, 2010）。しかし、本研究の結果においては、定期平均材積成長量との関係において有意な相関の見られた林分は樹冠サイズの一つである樹冠長率よりも、根張り直径のほうが多かった。このことから、根張りは樹冠長率よりも成長が持続する個体を高精度で識別できる可能性が高いと考えられる。また、根張り直径と樹冠長率の間には正の相関を示す林分も少なくなかった（表－4）。これは、根張りを選木の基準とすることによって、同時に樹冠長率の高い個体を識別することが可能であることを示している。すなわち成長の持続性の確保を目指して選木をする場合、根張りは樹冠サイズというこれまでの知見を否定するものではなく、むしろそれを内包したより実践的な指標であるといえよう。

また根張り直径と形状比の間には有意な負の相関が確認された（表－3 及び 4）。一般に形状比の低い個体は、梢殺な樹形となり、気象害への耐性が高いとされることから、根張りのより大きい個体を残存木とすることは気象害に対する耐性を確保する上でも有効であると考えられる。

一方で、相対根張り直径と定期平均材積成長量との関係において、有意な相関が見られた林分は 13 林分中 3 林分のみであった（表－5）。この林分数は根張り直径に比較して少ないことから、相対根張り直径は根張り直径ほど成長が持続する個体を識別できないと判断された。また相対根張り直径は樹高や直径といった個体サイズ、形状比、樹冠長率との関係において林分レベルでは有意な相関が確認されず、個体レベルでもこれらと有意な相関を示した林分はほとんどなかった（表－3 及び 4）。これらのことから、選木指標としては、胸高直径に対する比である相対根張り直径よりも根張りの大きさそのものである根張り直径が有効であると考えられる。

以上のことから、斜面に対して横方向の根張り直径は成長の持続性や気象害に対する耐性を持つ個体を識別しうる簡易で有効な選木指標であると考えられた。さらに根株形状は引抜抵抗力と非常に密接な関係にあるとされる（塚原ら, 1975）。本研究で調査対象とした根張りもこの根株を計測対象としていることから、引抜抵抗力、すなわち土壌緊縛力に影響していることは容易に想像される。このことから根張りを選木基準とすることは林業経営上の利点のみならず、山地災害の防止等森林の公益的機能の発揮という面からも有効であると考えられる。

ところで、当然のことながら間伐時の選木は密度管理と対応したものでなければならない。根張り直径は個体間競争によりその成長を制限されることから、間伐によって林分の疎密度をより低くすることで、根張りの成長を維持することができると考えられる。高齢スギ人工林においては通常よりも疎な密度管理を必要とするとされる（澤田, 2004）が、これは根張りを指標とした場合においても同じであるといえよう。ただし、本研究で対象としている伐期延長された高齢スギ人工林の中には間伐が遅れ過密化したスギ人工林も少なからず含まれる。過密化した高齢林分において強度

な間伐を実施すると、気象害の発生を助長してしまう可能性が高い。また、適正な密度管理がなされた林分であっても収量比数の下げ幅の下限値とされる 0.15 を超える間伐もやはり林地保全上避けるべきだろう。したがって実務レベルにおいては現況林分の状態を考慮して間伐率を決定し、場合によっては複数回の間伐によって標準よりも疎な状態を目指すことが適当であろう。

V. おわりに

これまでもいくつかの文献で間伐時の選木指標として「根張りがいいこと」が提唱されている(たとえば藤森, 2010)。しかしながら、これまでの研究で根張りそのものに焦点を当て、その特性や個体サイズ、樹冠といった他の林分構成因子との関係、さらには成長との関係を調査したものはなかった。本研究の結果、根張りは個体サイズや形状比、樹冠長率と密接な関係にあることが明らかとなり、高齢スギ人工林における実践的な選木指標として有効であることが示唆された。特に根張りと個体の成長との間に直接的な正の相関関係が見られたことは、大住ら(2000)が指摘するような高齢林となっても成長が持続する秋田スギの成長特性と無関係ではないと思われる。この点については今後、他県のスギ高齢林において同様の調査を実施し、本研究の結果と比較する必要があるだろう。ただし、すべての調査林分で同様の結果が得られたわけではなく、根張り直径と個体成長との関係が見られない林分も確認された。これは成長量に対する説明変数として期末のデータを扱ったためであるかもしれない。今後の課題として、本研究で調査した林分を5~10年程度経過した段階で再度調査し、根張りと成長量との関係を改めて解析することで、根張りがもつ特性の本質により近づいていくものと考えている。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、非常に多くの皆様に御助力・御助言いただいた。特に調査地を快く提供していただいた森林所有者や国有林の皆様には、心からの謝意を申し上げる。また実際の調査に協力いただいた歴代の臨時的任用職員の皆様には悪天候・急傾斜といった悪条件にもめげず協力していただいた。この場を借りてお礼申し上げる。さらに調査計画の立案及び本論文の執筆にあたって有意義な助言・指導をしていただいた林業研究研修センターの皆様には感謝申し上げます。

引用文献

秋田県農林水産部 (2015) 平成 26 年度版秋田県林業統計。

秋田県森林技術センター (2013) 秋田県民有スギ林分収穫表 (平成 24 年度森林資源モニタリング調査成果品)。34

遠藤日雄 (2006) 経営面から見た長伐期林の可能性。(長伐期林を解き明かす。全国林業普及協会編, 全国林業普及協会) : 33-56pp.

- 藤森隆郎 (2010) 間伐と目標林型を考える. 全国林業改良普及協会 : 191pp
- 石井 弘・片桐成夫・三宅 登 (1983) 冠雪害を受けたスギ人工林の直径分布, 形状比分布と被害の関係. 日本森林学会誌 65 : 366-371
- 小谷二郎・千木 容 (2006) 立地環境要因によるスギ高齢林の地位指数および形質の推定. 石川県林業試験場研究報告 38 : 16-20
- 國崎貴嗣・松井沙織 (2011) 粗放管理されたスギ人工林における簡便な個体管理指標の探索. 岩手大学演習林報告 42 : 45-56
- 國崎貴嗣 (2005) 岩手山麓のスギ高齢林における冠雪害の発生傾向. 日本森林学会誌 87 : 426-429
- 長濱孝行・近藤洋史 (2006) 長伐期施業に対応した鹿児島県スギ人工林収穫予測. 日本森林学会誌 88 : 71-78
- 大住克博・森麻須夫・桜井尚武・斎藤勝郎・佐藤昭敏・関 剛 (2000) 秋田地方で記録された高齢なスギ人工林の成長経過. 日本森林学会誌 82 : 179-187
- 澤田智志 (2004) 長期育成循環施業に対応する森林管理技術の開発. 秋田県森林技術センター研究報告第 13 号 : 65-88
- 島田博匡 (2010) 三重県のスギ・ヒノキ人工林における長伐期施業に対応した林分収穫表の作成. 三重県林業研究所研究報告第 2 号 : 1-28
- 森林総合監理士 (フォレスター) 基本テキスト作成委員会 (2014) 森林総合監理士 (フォレスター) 基本テキスト. 262
- 高橋絵里奈・竹内典之 (2007) 吉野林業地における長伐期高品質大径材生産林の陽樹冠管理. 日本森林学会誌 89 : 107-112
- 竹内郁雄 (2005) スギ高齢人工林における胸高直径成長と林分材積成長. 日本森林学会誌 87 : 394-401
- 塚原初男・遠藤治郎・大谷博彌・須藤昭二 (1975) 豪雪急斜地におけるスギ根株の形状と引抜抵抗力との関係. 日本林学会東北支部会誌 27 : 70-72
- 安井洋二 (1976) 幼令林分の根元曲り回復時期について. 雪と造林 1. 16-19