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

和田 寛^{*1}・金子 智紀¹・八木橋 勉²・杉田 久志²

多雪環境下にある秋田県内の三つの小流域において、スギ人工林を対象に、スギの成林状況と広葉樹の侵入による混交林化の程度に影響を及ぼす要因を分析した。スギの密度や樹高成長は標高の増加に応じて低下し、標高約 650 m 以上になると、密度は標準値を下回るようになり、上層木平均樹高は地位 5 級（地位の最下位）の樹高曲線の値を満たさなくなった。三つの調査流域のスギ人工林内には、ミズキ、コシアブラ、リョウブ、ウワミズザクラ、ブナ、ミズナラなどの多様な広葉樹が共通して出現した。標高が増すにつれてスギ林の不成績化と広葉樹の侵入による混交林化が進む一方で、ササ類の密度も高くなり、広葉樹の侵入・定着が阻害される場合もあった。標高 870 m 以上では人工林としてはもちろん混交林としても成林している状況になかった。以上の結果から、スギ人工林の経済林としての維持管理を流域スケールで効率化するためには、標高約 650 m 以下、最深積雪深およそ 2.0 m 以下の範囲に重点をおくことが有効である。これより高標高に存在する人工林については機能の重点を経済林から環境林へとシフトさせていく必要があると考えられる。

キーワード：ササ、針広混交林、積雪深、地帯区分、不成績造林地

Satoru Wada,^{*1} Tomonori Kaneko,¹ Tsutomu Yagihashi,² and Hisashi Sugita² (2009) Factors Affecting the Success of *Cryptomeria japonica* Plantations and Regeneration of Hardwoods in Plantations in a Snowy Region of Northern Japan. J. Jpn. For. Soc. 91: 79-85. We evaluated the relationships of some environmental factors to the success of *Cryptomeria japonica* afforestation and the degree of regeneration of hardwoods in *C. japonica* plantations in three watersheds in Akita Prefecture, a snowy region of northern Japan. Both stem density and canopy height of *C. japonica* declined as elevation increased: at elevations of more than ca. 650-m, heights fell below the threshold for the lowest site productivity class (least economical), and the densities were less than standard values. Various hardwoods such as *Swida controversa*, *Eleutherococcus sciadophylloides*, *Clethra barbinervis*, *Prunus grayana*, *Fagus crenata*, and *Quercus crispula* had regenerated in *C. japonica* plantations in all three of the surveyed watersheds. As elevation increases, it becomes harder to establish *C. japonica* plantations and easier for hardwoods to grow, but at much higher elevations, dwarf bamboos grow vigorously and inhibit the regeneration of hardwood trees. At elevations of more than 870-m, not only the establishment of *C. japonica* plantations but also the regeneration of hardwoods have been unsuccessful. We conclude that it is effective to give priority to areas at elevations of less than 650-m, which roughly corresponds to 2.0-m in maximum snow depth, for the efficient management of *C. japonica* plantations as commercial forests on a watershed scale. For plantations located in higher elevations, it is necessary to shift priority from commercial to environmental purposes.

Key words: dwarf bamboo, mixed-forest, snow depth, unsuccessful plantations, zoning

I. は じ め に

高度経済成長期の木材需要に応えるべく、わが国では、1950 年代後半から 1960 年代を中心に、スギ、ヒノキを主体とした針葉樹人工林の造成が進められ、現在、森林面積の 4 割、1 千万 ha を越える人工林が成立するに至っている。しかし、造林木が健全に生育できる限界を越えた高海拔・豪雪地帯にまでスギ人工林の造成が及び、造林木のみでは成林が困難な不成績造林地がかなりの面積で生じるに至っている（小野寺, 1990；小野瀬, 1995；横井・山口, 2000a）。

不成績造林地では、スギが消失した空間にさまざまな広葉樹が侵入し（長谷川（1998）にならい造林地に広葉樹が発生、定着することを「侵入」という用語で以下表現する）、スギ人工林由来の針広混交林がみられる（小谷, 1990；前田, 1992；横井・山口, 1998；豪雪地帯林業技術開発協議

会編, 2000；長谷川・平, 2000；正木ら, 2003）。不成績造林地を針葉樹人工林として持続的に管理していくには多大な労力が必要であり、技術的にも困難が伴う。それよりも、混交林として評価して、将来天然林に移行させていく方が得策である（藤森, 2000, 2003）。広葉樹を生かして不成績造林地を成林に導くことは、広葉樹資源を育成するのみでなく、環境保全や生物多様性の維持の面からも有効であると期待される（豪雪地帯林業技術開発協議会編, 2000；横井・山口, 2000b）。2001 年制定の「森林・林業基本法」では、従来の「木材生産重視」から「森林の有する多面的機能の発揮」へと、森林・林業政策の転換がなされた。人工林については、今後持続的に管理していけるものはどれくらいかを十分に検討し（藤森, 2000, 2003）、地理的条件や地域住民に求められている機能に着目した整備が必要である（森林・林業基本政策研究会, 2002）。2006 年には「新た

* 連絡先著者（Corresponding author）E-mail: s-wada@pref.akita.lg.jp

¹ 秋田県農林水産技術センター森林技術センター 〒019-2611 秋田市河辺戸島字井戸尻台 47-2 (Institute of Forestry, Akita Prefecture Agriculture, Forestry and Fisheries Research Center, 47-2 Idoshiridai, Kawabe, Akita 019-2611, Japan)

² 独立行政法人森林総合研究所東北支所 〒020-0123 盛岡市下厨川字鍋屋敷 92-25 (Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Morioka 020-0123, Japan)

(2008 年 3 月 5 日受付；2008 年 10 月 17 日受理)

な森林・林業基本計画」が策定され、広葉樹林化や長伐期化など、多様な森づくりの推進が施策の方向性として示された。このような情勢のなか、スギ人工林としての造林成績の判定と混交林誘導の可能性についての見極めが今後必要とされることが考えられる。

多豪雪地帯におけるスギ人工林の造林成績に関しては、これまで各地で積雪環境や立地環境との関係について解析がなされてきた（豪雪地帯林業技術開発協議会編，1984，2000；秋田県林務部，1987；小野寺，1988，1990）。岐阜県飛騨地方の例では、スギの成林に影響すると考えられる立地要因（最深積雪深、標高、斜面の方位と傾斜、斜面の位置と形状、土壌型）のうち、最深積雪深の影響が最も大きいことが報告されており、最深積雪深による造林適地判定がなされている（横井・山口，2000a）。この報告に代表されるように、多豪雪地帯に顕在するスギ不成績造林地は、土壌的には造林不適地でない場合も多く、不成績化の主因は雪であるとされ、主として最深積雪深による造林適地判定が一般的となっている。最深積雪深が大きいほど不成績化が進行し、2.5 m 以上では特殊な方法をとらない限り成林は難しいとする見解にある。

しかし、従来のスギ人工林の造林成績の判定は、拡大造林期の林分が若齢の段階で示された基準が多く、現状に合っているかの検証が不十分であると考えられる。しかも、混交林化を意識したものではなく、その可能性については十分に検討されていない。今後、混交林化に影響を及ぼす要因についても明らかにしていく必要がある。また、従来の研究は、不成績林分に限定した研究が多く、低標高の成林した林分から高標高の不成績林分までを含む流域スケールでの解析は行われていない。流域スケールの空間において、スギ人工林の成林状況や混交林化の実態を明らかにし、それに及ぼす諸要因の影響を解析することは、効率的な森林管理を行うためのゾーニングや森林機能区分にも役立つものと期待される。

そこで、本研究では秋田県内三つの小流域を対象に、標高をベースとしてスギ人工林の成林状況と混交林化の実態を調査し、以下の点について検討した。1) スギ人工林の成林に及ぼす標高・積雪深の影響、2) スギ人工林への侵入がみられた広葉樹の特徴、3) スギ人工林の混交林化に影響を及ぼす要因、そして、これらの結果を基に4) 調査流域におけるスギ人工林の管理指針について提案を行った。

II. 調査地と方法

1. 調査地の概要

秋田県の西木村と田沢湖町（いずれも現在は仙北市，以下、調査時の旧町村名で表記）ならびに東成瀬村にある三つの小流域（流域規模はおおよそ 400 ha）を調査対象とした（図-1）。西木村の調査流域は、太平山地の東面に位置し、山稜部で秋田市に接する。流域全体が花崗岩よりなり、比較的急傾斜な環境にある。田沢湖町の調査流域は、秋田駒ヶ岳の西面に位置し、火山噴出物由来の土壌を有し、通称、

図-1. 調査流域の位置

田沢湖高原を形成している。東成瀬村の調査流域は、奥羽山脈の西面に位置し、山稜部で岩手県に接する。地質は凝灰岩からなり、流域全体が比較的なだらかである。いずれの流域も、高標高域はブナ林に被われており、最深積雪深が 2.5 m 以上にも及ぶ多豪雪環境にある。

後述の調査プロットを含む調査地の概要を示す（表-1）。土壌は Bd 型（東成瀬村の一部に Blb 型との中間型）ないし Bd_(d) 型である。スギ人工林の林齢は 30 年生前後が多いが、東成瀬村には 15 年生以下の若齢林分もみられる。田沢湖町の流域では、33～49 年生と、他の流域に比べて林齢が高い。施業履歴については、東成瀬村の 13 年生と 15 年生の調査地で除伐が行われていないが、それ以外の調査地ではすべて 2 回以上の除伐が行われ、最後の除伐から 6～22 年が経過している。田沢湖町の流域は、除伐の回数が多く、標高 600 m 以下の林分では間伐も 1～4 回実施されている。

2. 調査方法

1) 調査プロットの設定と測定

調査流域のスギ人工林内に、幅 10 m × 長さ 40 m = 400 m²（東成瀬村の 1 箇所は幅 15 m × 長さ 40 m = 600 m²）のプロットを設置し、調査を行った。プロットは、西木村では標高 310～800 m の範囲に 7 箇所、田沢湖町では 270～890 m の範囲に 8 箇所、東成瀬村では 300～970 m の範囲に 10 箇所、それぞれ標高を変える形で設けた（表-1）。なるべく緩傾斜地を選んで設置したので、斜面傾斜は 5～25° のものが多いが、33° の急傾斜地（西木村）も含まれている。スギについては樹高、胸高直径、傾幹幅を測定し、上層木であるか否かを判定した。傾幹幅は、地上高 1.2 m における植栽原点と樹幹の間の水平長を測定した。広葉樹については胸高直径 2 cm 以上を対象に、樹種を記録し、胸高直径を測定した。広葉樹の複数幹の個体については、外観上、同一個体かどうかを判断できない場合もあったことから、幹単位で測定した。ただし、地上部で幹が分岐している場合は主幹のみ測定した。また、プロットを 10 m × 10 m に分割し、それぞれの区画の中心部に 2 m × 2 m のサブプロットを設け、ササ類の稈密度を調べた。

2) 積雪深測定

2005 年と 2006 年の 2 月 23～24 日に、標高と積雪深の関係把握するため、秋田県のほぼ中央を東西に横断する秋田市河辺—田沢湖畔—秋田駒ヶ岳のラインで積雪深を調査した。調査は、標高 75 m から 1,026 m の範囲にある落葉広

表-1. 調査地の概要とスギの成林状況・広葉樹の侵入状況

No.	位置	標高(m)	林齢	斜面傾斜 (度)	スギ上層木 平均樹高(m)	スギ密度 (ha ⁻¹)		スギ標準密度* (ha ⁻¹) B	相対密度(%) (A/B) × 100	広葉樹密度** (ha ⁻¹)	除伐回数 (間伐回数)
						全本数 A	上層木				
N-1	西木村下田	310	33	33	15.6	1550	1025	1264	122.6	975	2
N-2	西木村下田	410	33	22	13.7	2325	1500	1451	160.2	1000	2
N-3	西木村下田	500	33	15	14.3	1500	850	1388	108.1	2500	2
N-4	西木村下田	600	33	25	11.0	1450	1125	1780	81.5	1450	2
N-5	西木村下田	740	30	25	6.0	1575	775	2674	58.9	1800	2
N-6	西木村下田	780	30	5	6.4	625	450	2585	24.2	900	2
N-7	西木村下田	800	30	20	6.7	1100	425	2520	43.7	3275	2
T-1	田沢湖町潟	270	38	20	16.9	1225	1225	1154	106.2	0	2(4)
T-2	田沢湖町高野	430	44	23	18.6	1275	1275	1027	124.1	0	3(3)
T-3	田沢湖町高野	480	41	5	17.5	750	750	1107	67.8	50	3(2)
T-4	田沢湖町駒ヶ岳	600	49	5	19.8	775	775	949	81.7	225	4(1)
T-5	田沢湖町駒ヶ岳	740	38	20	10.8	1050	950	1808	58.1	1025	4
T-6	田沢湖町駒ヶ岳	800	38	10	14.0	375	325	1419	26.4	225	4
T-7	田沢湖町駒ヶ岳	850	33	10	9.4	900	525	2019	44.6	400	4
T-8	田沢湖町駒ヶ岳	890	33	22	7.9	775	350	2280	34.0	1550	4
H-1	東成瀬村椿川	300	13	15	5.5	1750	1725	2791	62.7	1800	—
H-2	東成瀬村椿川	500	15	20	5.9	1700	1500	2697	63.0	1450	—
H-3	東成瀬村椿川	660	32	10	10.6	1525	900	1836	83.1	475	2
H-4	東成瀬村椿川	710	32	10	6.7	1250	1225	2520	49.6	275	2
H-5	東成瀬村椿川	750	32	10	5.0	1300	1275	2915	44.6	2025	2
H-6	東成瀬村椿川	820	31	5	4.2	875	825	3127	28.0	2500	2
H-7	東成瀬村椿川	850	31	15	5.4	850	750	2815	30.2	2175	2
H-8	東成瀬村椿川	890	31	15	5.1	1333	1267	2890	46.1	734	2
H-9	東成瀬村椿川	960	28	18	3.3	475	475	3388	14.0	50	2
H-10	東成瀬村椿川	970	28	5	3.7	275	200	3268	8.4	150	2

* スギ標準密度, 上層木平均樹高 H に応じた標準的な密度 N (秋田県, ギンベルツ式 $N = \exp(3.3953(1 + 1.484 \exp(-0.018988H)))$) (澤田, 2004)。

** 広葉樹密度, 胸高直径 2 cm 以上の高木種・中高木種。

葉樹林 19 林分において、積雪面の高さを樹木にマーキングし、雪解け後に地上からの高さを測定した。なお、マーキングは、微地形等による誤差を極力減らすため、同一林分について 7 地点で行い、最大値と最小値を除外し、5 地点の平均値で求めた。最寄りの秋田地方気象台角館気象観測所における、当該冬期の最深積雪深と当該調査日の積雪深の比を求め、調査結果に乘じ、当該調査地点の最深積雪深とした。

3. 解析方法

スギの成林状況については、立木密度、樹高成長、形質の面から評価した。立木密度については、スギ上層木平均樹高に応じた秋田県内の標準的な密度に対する相対値（以下、「相対密度」とする）を指標とした。標準的なスギの密度はギンベルツ式を用いて算出された平均密度曲線(澤田, 2004)を用いた。樹高成長については、各プロットについて、それぞれの林齢に応じた地位 5 級（地位を 5 区分したうちの最下位）の樹高曲線の値（秋田県林務部, 1980）に対する上層木平均樹高の相対値（地位 5 級 = 100, 以下, 「相対樹高」とする）で検討した。形質については、根元曲がりの程度を表す上層木平均傾幹幅を指標とした。広葉樹の侵入状況については幹密度（高木種および中高木種, 胸高直径 2 cm 以上）を、ササの繁茂状況については稈密度を指標とした。

スギの成林状況ならびに広葉樹の侵入状況に影響すると考えられる要因の影響について解析するため、要因間相互の相関係数を算出した。また、ソフトウェア R (R

Development Core Team, 2008) の tree パッケージを用いて、回帰樹分析 (Regression Tree Analysis) による樹形モデルを用いて検討した。この解析は、説明変数間の複雑な交互作用関係をモデル化できる点で優れている (Clark and Pregibon, 1994)。樹形モデルは、データをそれ以上分割しても無意味になるまで、可能な限りグループ内が等質になるように二つに分割していくことによって作成されるモデルである (Breiman *et al.*, 1984)。樹形図 (回帰樹) の分岐点に示された説明変数の条件によって分割し、その条件の貢献度が回帰樹の縦線の長さとして表現される。スギの成林状況については、被説明変数としてスギの相対密度を、説明変数として標高、斜面傾斜度、ササの稈密度、除間伐回数を用いた。広葉樹の侵入状況については、被説明変数として広葉樹密度を、説明変数として標高、斜面傾斜度、ササの稈密度、除間伐回数およびスギの相対密度を用いた。解析時には当てはめすぎ (over fitting) や当てはめ不足 (under fitting) を防ぐために交差確認 (cross-validation) (Clark and Pregibon, 1994) を行い、最適な分割回数を決定した。また、各葉 (末端部) には最低でも 3 箇所のデータが含まれるよう設定した (R の tree パッケージで mincut = 3 を指定)。

III. 結果

1. スギ人工林の成林状況と標高、積雪深の関係

スギの相対密度は 8~160% の範囲にわたり、低標高ではばらつきが大きかったが、全般に標高の増加に応じて値は

低下した。特に標高 660 m を超えると、全プロットで値が 60% を下回った (図-2, 表-1)。同様にスギの相対樹高も標高の増加に応じて値が低下し、標高 600 m を超えると、田沢湖町の 1 箇所を除くすべてプロットで 100% を下回った (図-3)。スギ上層木平均傾幹幅は、いずれの流域も標高の増加に応じて増加する傾向にあった (図-4)。標高 660 m を超えると、東成瀬村と西木村の調査流域では傾幹幅は 1.0 m 以上に、田沢湖町の流域では 0.5 m 以上の値となった。

標高と最深積雪深の間には、2005 年と 2006 年のいずれの年も、顕著に高い相関関係がみられた (2005 年 $r=0.889$, $p<0.0001$; 2006 年 $r=0.886$, $p<0.0001$, 図-5)。指数関数式を当てはめた年ごとの近似式から得られた最深積雪深は、標高 400 m で 150~180 cm, 標高 600 m で 190~230 cm, 標高 800 m で 240~290 cm であった。

2. スギ人工林における広葉樹の侵入状況とササの繁茂状況

スギ人工林で胸高直径 2 cm 以上のものがみられた広葉樹のうち、すべての流域で出現し、各流域における出現率も高かった樹種は、ミズキ、コシアブラ、リョウブ、ウワミズザクラ、ブナ、タムシバ、ヤマウルシ、ホオノキ、ベニイタヤ、ミズナラなどであった (表-2)。胸高直径 2 cm 以上の高木種・中高木種は、ha あたり平均 1,080 (範囲 0~3,275) 本みられ、流域別にみると西木村で多く、田沢湖町

図-2. 標高とスギの相対密度との関係

図-3. 標高とスギの地位 5 級値に対する相対樹高との関係

相対樹高 = (上層平均樹高/地位 5 級相当樹高) × 100

図-4. 標高とスギ上層木平均傾幹幅との関係

で少なかった (表-1)。ササの稈密度は、標高 660 m を超えると急激に稈密度が高くなった (図-6)。ササ類は、東成瀬村では標高およそ 700 m 以上でチシマザサが、それ以下でチマキザサとクマイザサがみられた。西木村と田沢湖町でもこれら 3 種類のササがみられたが、標高との対応関係はみられず、場所によっては混在していた。

3. スギの成林状況および広葉樹の侵入状況に関わる要因

スギの成林状況、広葉樹の侵入状況およびそれに関わると思われる要因 (スギの相対密度、広葉樹密度、ササの稈密度、除間伐回数、傾斜度、標高) の相互の関係を解析した (表-3)。

スギの相対密度は、標高、ササの稈密度と顕著な負の相関関係が認められた ($p<0.001$)。また、傾斜度とも相関関係が認められた ($p<0.05$)。図-7 に、スギの相対密度を被説明変数とした回帰樹を示した。スギの相対密度には、標高が圧倒的に貢献していた。回帰樹は標高 685 m で分割され、標高 685 m 以上ではスギの相対密度が低かった。標高以外の要因としては、標高 685 m 未満では傾斜度によって、標高 685 m 以上ではササの稈密度によって分割された。標高 685 m 未満では傾斜度 21 度以上で、標高 685 m 以上ではサ

図-5. 標高と最深積雪深との関係

図中の実線は 2006 年の、破線は 2005 年の指数近似曲線を表す。

図-6. 標高とササの稈密度との関係

図-7. スギの相対密度を被説明変数とした樹形モデル

樹形図の末端の数値は、グループごとのスギの相対密度 (%) の平均値を示す。

表-2. スギ人工林に出現した広葉樹

種 名	生活形	種子散布型	出現率* (%)			
			東成瀬村	西木村	田沢湖町	
ミズキ	<i>Swida controversa</i>	中高木	鳥	80.0	71.4	37.5
コシアブラ	<i>Eleutherococcus sciadophylloides</i>	中高木	鳥	60.0	100.0	37.5
リョウブ	<i>Clethra barbinervis</i>	小高木	風	60.0	71.4	12.5
ウワミズザクラ	<i>Prunus grayana</i>	中高木	鳥	50.0	85.7	50.0
ブナ	<i>Fagus crenata</i>	高木	小動物	50.0	85.7	37.5
タムシバ	<i>Magnolia salicifolia</i>	小高木	鳥	50.0	71.4	25.0
ヤマウルシ	<i>Rhus trichocarpa</i>	小高木	鳥	50.0	57.1	12.5
ホオノキ	<i>Magnolia hypoleuca</i>	高木	鳥	40.0	85.7	50.0
ベニイタヤ	<i>Acer mono</i> var. <i>mayrii</i>	高木	風	40.0	57.1	25.0
ミズナラ	<i>Quercus crispula</i>	高木	小動物	20.0	57.1	25.0
タラノキ	<i>Aralia elata</i>	低木	鳥	40.0	28.6	12.5
ツノハシバミ	<i>Corylus sieboldiana</i>	低木	小動物	40.0	28.6	12.5
オオバクロモジ	<i>Lindera umbellata</i> var. <i>membranacea</i>	低木	鳥	10.0	57.1	37.5
ハウチワカエデ	<i>Acer japonicum</i>	中高木	風	10.0	42.9	25.0
タニウツギ	<i>Weigela hortensis</i>	低木	風	20.0	14.3	12.5
ウリハダカエデ	<i>Acer rufinerve</i>	中高木	風	40.0	71.4	
キハダ	<i>Phellodendron amurense</i>	高木	鳥	50.0	14.3	
ナナカマド	<i>Sorbus commixta</i>	中高木	鳥	40.0	28.6	
ハクウンボク	<i>Styrax obassia</i>	中高木	小動物	10.0	42.9	
シナノキ	<i>Tilia japonica</i>	高木	風	10.0		25.0
キブシ	<i>Stachyurus praecox</i>	低木	小動物	10.0		12.5
サワグルミ	<i>Peterocarya rhoifolia</i>	高木	風		14.3	12.5
トチノキ	<i>Aesculus turbinata</i>	高木	小動物		14.3	12.5
バッコヤナギ	<i>Salix bakko</i>	中高木	風	30.0		
テツカエデ	<i>Acer nipponicum</i>	中高木	風	20.0		
オオバボダイジュ	<i>Tilia maximowicziana</i>	中高木	風	20.0		
アズキナシ	<i>Sorbus alnifolia</i>	中高木	鳥	10.0		
ヤマグワ	<i>Morus australis</i>	中高木	鳥	10.0		
ヤマモミジ	<i>Acer amoenum</i> var. <i>matsumurae</i>	中高木	風	10.0		
エゴノキ	<i>Styrax japonica</i>	中高木	小動物	10.0		
クリ	<i>Castanea crenata</i>	高木	小動物	10.0		
スルデ	<i>Rhus javanica</i>	小高木	鳥	10.0		
マルバマンサク	<i>Hamamelis japonica</i> var. <i>obtusata</i>	小高木	小動物		85.7	
ミネカエデ	<i>Acer tschonoskii</i>	小高木	風		57.1	
オオカメノキ	<i>Viburnum furcatum</i>	低木	鳥		42.9	
ウダイカンバ	<i>Betula maximowicziana</i>	高木	風		28.6	
コミネカエデ	<i>Acer micranthum</i>	小高木	風		28.6	
ノリウツギ	<i>Hydrangea paniculata</i>	低木	風		14.3	
ハリギリ	<i>Kalopanax septemlobus</i>	高木	鳥			25.0
コハウチワカエデ	<i>Acer sieboldianum</i>	高木	風			12.5
キツネヤナギ	<i>Salix vulpina</i>	低木	風			12.5
サワフタギ	<i>Symplocos chinensis</i> var. <i>leucocarpa</i> f. <i>pilosa</i>	低木	鳥			12.5

* 流域ごとの全調査地数に対する当該樹種が出現 (DBH $\geq$ 2 cm) した調査地数の割合。

表-3. 要因間の相関係数

	傾斜度	除間伐回数	ササ稈密度	標高	スギ相対密度
除間伐回数	-0.067 ^{ns}				
ササ稈密度	-0.438 *	-0.092 ^{ns}			
標高	-0.376 ^{ns}	-0.118 ^{ns}	0.748 ***		
スギ相対密度	0.501 *	0.214 ^{ns}	-0.714 ***	-0.824 ***	
広葉樹密度	0.191 ^{ns}	-0.524 **	-0.117 ^{ns}	0.083 ^{ns}	-0.096 ^{ns}

^{ns} $p \geq 0.05$, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

サの稈密度が 17 本/m² 未満で、それぞれスギの相対密度が高かったが、これら標高以外の要因は、標高に比較して貢献度が低かった。

広葉樹密度は、除間伐回数と負の相関関係が認められた ($p < 0.01$) が、そのほかの要因との間に有意な相関関係はみられなかった ($p > 0.05$, 表-3)。図-8 に、広葉樹密度を被説明変数とした回帰樹を示した。回帰樹への分離貢献度 (尤

離度の低下への貢献割合) が最も大きかった要因は、分割に二度採用された標高であった。標高による二度の分割を別のものとみなす場合には、除間伐回数による分割が最も尤離度を低下させた。回帰樹を上から順にみていくと、除間伐回数 3 回以上で広葉樹密度は低かった。除間伐回数 3 回未満かつ標高 870 m 以上では広葉樹密度は低かった。除間伐回数 3 回未満かつ標高 790 m 以上 870 m 未満では広葉樹密度は高かった。除間伐回数 3 回未満かつ標高 790 m 未満では、ササの稈密度が 6.85 本/m² 以上の場合には広葉樹密度は比較的 low だった。除間伐回数 3 回未満かつ標高 790 m 未満かつササの稈密度が 6.85 本/m² 未満では、さらに斜面傾斜が 17.5 度未満の条件下で広葉樹密度がより高くなったが、ササの稈密度や傾斜度による分割は、標高や除間伐回数に比べて分離貢献度が低かった。

図-8. 広葉樹密度を被説明変数とした樹形モデル

樹形図の末端の数値は、グループごとの広葉樹密度（本/ha）の平均値を示す。

IV. 考 察

1. スギ人工林の成林に及ぼす標高・積雪深の影響

スギの成林状況は標高の増加に応じて悪化していた（図-2～4）。標高と最深積雪深が顕著な相関関係にある（図-5）ことから、標高の増加は積雪深の増加として反映され、スギ造林木に雪害という形で影響を及ぼした（四手井, 1954；豪雪地帯林業技術開発協議会, 1984）ものと考えられる。回帰分析の結果（図-7）は、スギの成林状況に影響を及ぼす要因のなかで標高の貢献度が圧倒的に高いことを示している。スギの成林状況の悪化が顕著となる標高は、概ね 650 m 程度であった（図-2～4, 7）。なお、田沢湖町の流域では、例外的に、標高 650 m 以上でも樹高成長が地位 5 級値を満たした箇所があり、傾幹幅についても他の 2 流域と比べて小さかった。この流域は、秋田地方としては多い回数の除伐、間伐が行われている。徹底した除伐、間伐の実施により、残存木の成長が促されたものと考えられる。あるいは、傾幹幅が大きく形質が不良であった個体がたびたび除去され、その結果、平均傾幹幅は小さく、平均樹高が高くなった可能性もある。

2. スギ人工林への侵入がみられた広葉樹の特徴

スギ人工林に侵入した広葉樹の特徴として、鳥散布型や風散布型の種子をもち、埋土種子として長期に生存できる樹種が多いことが指摘されている（長谷川・平, 2000；Masaki *et al.*, 2004；杉田ら, 2007）。また、種子供給源としての広葉樹林からの距離が遠いほど、鳥散布型や風散布型の樹種の割合が高くなる傾向がある（Kodani, 2006）。本調査結果においても、鳥散布型の種子をもち埋土種子を形成するミズキ、コシアブラ、ウワミズザクラ、ヤマウルシ、ホオノキなどが高い頻度で出現した。これらの樹種は、岐阜県飛騨地方（横井・山口, 1998）、石川県白峰村（小谷, 1990）、岩手県雫石町（杉田ら, 2007）、青森県白神山地（正木ら, 2003）でもスギ人工林に混交する主要な広葉樹として報告されており、冷温帯域のスギ人工林における侵入樹種が広く共通している可能性がある。種子散布範囲が広いこと、加えて、スギ人工林を造成・管理していくための植栽、下刈り、除伐などに伴う地表攪乱が埋土種子の発芽に貢献したことが、これらの樹種の侵入を可能にしたものと

推察される（長谷川, 1997；長谷川・平, 2000）。出現率が比較的高い樹種には、ブナ、ミズナラのように種子散布距離が比較的小短く、埋土種子を形成しないものも含まれた。これら樹種はスギ植栽以前の森林において主要な樹種であったと考えられ、人工林造成以前から存在していた前生稚樹や、前生木の伐根からの萌芽に由来した可能性もある（長谷川, 1998；杉田ら, 2007）。

3. スギ人工林の混交林化に影響を及ぼす要因

図-8 の樹形モデルに示されたように、除間伐回数 3 回以上の場所では広葉樹密度が低かった。除伐により、侵入した広葉樹は伐倒されて、現存量を減じたり、消失する。間伐は、本来スギを対象として行う作業であるが、支障木として広葉樹も同時に伐倒する場合が非常に多い。田沢湖町の広葉樹密度の低さは頻繁な除間伐の実施によるものと考えられる。回帰分析において、除間伐回数 3 回以上のプロットで標高による分割がみられなかったのは、除間伐の効果が絶大であったためと推察される。

除間伐回数が 3 回未満のところでは、標高 790 m 以上 870 m 未満で広葉樹密度が最大になった。標高・積雪深の増加に伴ってスギの不成績化が進み（図-2～4）、スギの林冠のうっ閉が進まなくなると、広葉樹が生育できる空間が長期間存在するようになり、広葉樹がその空間を埋め尽くすように成長していく（小谷, 1990；横井・山口, 1998）。しかしながら、さらに標高・積雪深が増加すると、スギ人工林の不成績化の進行に伴ってササが著しく繁茂していた（表-3, 図-8）。ササ類の繁茂はブナの天然更新でもしばしば問題となり、更新の障害となっていることが知られている（Nakashizuka and Numata, 1982；鈴木, 1986；前田, 1988）。ササの繁茂によって地表面は非常に暗くなり、林床にある植物の生育は抑制される（Nakashizuka, 1988）。標高の増加に伴うスギ人工林の不成績化は、広葉樹に侵入機会を与えると同時にササの繁茂を促して、特に高標高域で広葉樹の侵入を阻害している可能性もあると考えられる。

傾斜度については、プロットの設定が緩傾斜地に偏っていることから、十分な検討はできない。ただ、除間伐回数 3 回未満かつ標高 790 m 未満かつササの稈密度が 6.85 本/㎡未満では、17.5 度未満の緩斜面で相対的に広葉樹密度が高くなった。本研究では傾斜度とスギの相対密度間には有意な正の相関が認められ（表-3）、緩傾斜地の方がスギのうっ閉度合いが低い。この結果として広葉樹密度が高くなったものと推測される。

以上のように、スギ人工林の混交林化に影響を及ぼす要因は、除伐などの施業履歴、標高や斜面傾斜、スギの成林状況、ササの繁茂状況など多様であり、これら要因は相互に複雑に影響しあっていることが示唆される。

4. 調査流域におけるスギ人工林の管理指針の提案

調査地域における既存のスギ人工林の地帯区分としては、秋田県南部樹種別植栽適地選定基準（秋田営林局, 1981）がある。この基準では、スギの植栽についての標高の上限を、土壌型または最深積雪深に応じて、標高 600～

800 m までとしている。本研究においても、標高約 650 m 以上でスギ人工林の成林状況が悪化しており、この標高をスギ経済林の造成限界の目安とすることが妥当と考えられる。この値は、従来の基準の範囲内にあり、その標高における最深積雪深の推定値も 1.9~2.5 m 程度で、従来の積雪地帯区分で成林が困難とされた 2.5 m と同じか、それより低い値である。造林限界を最深積雪深 2.0 m 以下まで下げて考えた方が安全との指摘もあり（藤森, 1991; 横井・山口, 2000a), 調査流域でも 2.0 m 前後とすることが無難と考えられる。以上の結果から、スギ人工林の経済林としての維持管理を流域スケールで効率化するためには、標高 650 m 以下、最深積雪深およそ 2.0 m 以下の範囲に重点をおくことが有効であると考えられる。これより高標高に存在する人工林については、不成績化していたり、あるいは今後していく可能性が高く、その程度に応じて機能の重点を経済林から環境林へとシフトさせていく必要がある。除伐の頻度が高い場合やササが繁茂する場合を除き、ミズギ、コシアブラ、ブナ、ミズナラなどの高木性・中高木性樹種が出現し、そのなかには有用樹種も含まれた。これらの侵入広葉樹を活かしてスギ人工林を混交林として取り扱うことは、成林にむけての有効な手段になると考えられる。ただし、本研究の調査流域では標高 870 m 以上になるとスギの成林は見込めず、広葉樹の侵入も少なくなり、ササが密生するようになった。いずれの調査流域でも、この標高域の天然林ではブナ林が卓越しており、スギ人工林造成前の林相もブナ林であったと推定される。高標高域に存在する人工林については、ブナ林が最適な目標林と判断され、ササの扱い等、更新上の課題を検討したうえで、ブナ林への再生を目標として扱うことが望ましいと考えられる。

本研究を行うにあたり、東成瀬村役場、雄勝広域森林組合、田沢湖町役場（現仙北市役所）、秋田森林管理署、秋田県林業公社の関係各位には、調査地選定の際の協力や施業履歴等の情報提供をいただいた。また担当編集委員と査読者の方々には、大変有意義なご意見をいただいた。ここに記して、厚くお礼申し上げる。なお、本研究は(独)森林総合研究所運営費交付金プロジェクト「針葉樹人工一斉林の針広混交林化誘導手法開発のための基礎的データセットの作成」(平成 15~17 年度)、および先端技術を活用した農林水産研究高度化事業「広葉樹林化のための更新予測および誘導技術の開発」(平成 19 年度~)の一環として行ったものである。

引用文献

- 秋田営林局 (1981) 造林事業の手引き. 97pp, 秋田営林局, 秋田.
 秋田県林務部 (1980) 秋田県民有林スギ人工林収獲予想表等作成に関する基礎調査書. 163pp, 秋田県林務部, 秋田.
 秋田県林務部 (1987) 造林地の雪害・寒害防除技術. 82pp, 秋田県林務部, 秋田.
 Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A., and Stone, C.J. (1984) Classification and regression trees. 368pp, Chapman & Hall/CRC, Boca Raton.
 Clark, L.A. and Pregibon, D. (1994) 樹形モデル. (S と統計モデル. Chambers, J.M. and Hastie, T.J. 編, 柴田里程訳, 共立出版, 東京). 391-436.
 藤森隆郎 (1991) 多様な森林施業. 191pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
 藤森隆郎 (2000) 森との共生 持続可能な社会のために. 236pp, 丸善, 東京.
 藤森隆郎 (2003) 新たな森林管理 持続可能な社会にむけて. 428pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
 豪雪地帯林業技術開発協議会編 (1984) 雪に強い森林の育て方. 170pp, 日本林業調査会, 東京.
 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.
 長谷川幹夫 (1997) 造林地での地拵え, 植栽が形成する発芽床の特性. 中森研 45: 115-116.
 長谷川幹夫 (1998) 多雪地帯のスギ造林地に侵入したウダイカンバの消長に及ぼす下刈り, 除伐の影響. 日林誌 80: 223-228.
 長谷川幹夫・平 英彰 (2000) 多雪地帯のスギ造林地に侵入した広葉樹の種組成構造の特徴. 日林誌 82: 28-33.
 小谷二郎 (1990) 積雪地帯における広葉樹林造成・改良技術. 石川県林試研報 21: 1-13.
 Kodani, J. (2006) Species diversity of broad-leaved trees in *Cryptomeria japonica* plantations in relation to the distance from adjacent broad-leaved forests. J. For. Res. 11: 267-274.
 前田禎三 (1988) ブナの更新特性と天然更新技術に関する研究. 宇都宮大学農学部学術報告特輯 46: 1-79.
 前田雄一 (1992) 鳥取県扇ノ山におけるスギ不成績地の現状と有用広葉樹の動態. 森林立地 34(1): 43-49.
 正木 隆・中村松三・太田敬之・大谷達也・大原偉樹・杉田久志・斉藤宗勝・神林友広・長池卓男 (2003) 白神山地奥赤石林道沿いのスギ・広葉樹混交林の群集構造の 5 年間の変化. 東北森林科学会誌 8: 75-83.
 Masaki, T., Ota, T., Sugita, H., Oohara, H., Otani, T., Nagaike, T., and Nakamura, S. (2004) Structure and dynamics of tree populations within unsuccessful conifer plantations near the Shirakami mountains, a snowy region of Japan. For. Ecol. Manage. 194: 389-401.
 Nakashizuka, T. (1988) Regeneration of beech (*Fagus crenata*) after the simultaneous death of undergrowing dwarf bamboo (*Sasa kurilensis*). Ecol. Res. 3: 21-35.
 Nakashizuka, T. and Numata, M. (1982) Regeneration process of climax beech forests I. Structure of a beech forest with the undergrowth of *Sasa*. Jpn. J. Ecol. 32: 57-67.
 小野寺弘道 (1988) 多様な森林施業を考慮した多雪地帯の育林技術. 森林立地 30: 24-30.
 小野寺弘道 (1990) 雪と森林. 81pp, 林業科学技術振興所, 東京.
 小野瀬浩司 (1995) スギ不成績造林地の拡大防止と改良施業 (I) スギ不成績造林地の実態と類型化. 山形県林試研報 25: 51-56.
 R Development Core Team (2008) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
 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. 秋田県森林技研報 13: 65-88.
 四手井綱英 (1954) 雪圧による林木の雪害. 林試研報 73: 1-89.
 森林・林業基本政策研究会編 (2002) 新しい森林・林業基本政策について. 388pp, 地球社, 東京.
 杉田久志・高橋健保・高橋良一 (2007) 岩手県雫石町の若齢人工林における混生樹の混交歩合と樹種構成. 東北森林科学会誌 12: 28-36.
 鈴木和次郎 (1986) ブナ林における天然更新施業の検討 奥只見地域の事例調査から. 林試研報 337: 157-174.
 横井秀一・山口 清 (1998) 積雪地帯のスギ不成績造林地におけるスギと広葉樹の生育実態. 森林立地 40: 91-96.
 横井秀一・山口 清 (2000a) 積雪地帯におけるスギ人工林の成林に影響する立地要因. 日林誌 82: 15-19.
 横井秀一・山口 清 (2000b) 積雪地帯におけるスギ不成績造林地の取扱い—スギと広葉樹の成長過程からみた施業案—. 森林立地 42: 1-7.