

積雪地帯のスギ不成績造林地 に関する造林学的研究

学位論文：博士(農学)乙112

横井秀一

目 次

第1章 序論	
1.1. 研究の背景	1
1.2. 積雪地帯のスギ不成績造林地に関する既往の研究	2
1.3. 研究の目的と方針	6
第2章 研究対象地域の概要	
2.1. 研究対象地域の位置と地形	8
2.2. 研究対象地域の気象	8
2.3. 研究対象地域の森林の概況	9
第3章 積雪地帯におけるスギ人工林の成林状況	
3.1. スギ造林木の根元曲がりの大きさと立地要因の関係	11
3.2. スギ人工林の成林状況とそれに影響する立地要因	17
第4章 スギ不成績造林地の林分構造	
4.1. スギ不成績造林地の実態と問題	24
4.2. スギ不成績造林地の林分構造	32
4.3. スギ不成績造林地におけるスギと広葉樹の成長過程	37
4.4. スギ不成績造林地における広葉樹の種組成	43
4.5. 森林簿によるスギ不成績造林地の判別と面積の推定	47
第5章 スギ造林に由来する壮齢スギ・広葉樹混交林の林分構造と成立過程	53
第6章 スギ不成績造林地の除伐による改良	62
第7章 総合考察—積雪地帯におけるスギ人工林の施業—	
7.1. スギ人工林の造林限界	72
7.2. 積雪地帯におけるスギ人工林の施業指針と不成績造林地の改良	74
謝辞	79
引用文献	80
要旨	91
Summary	93
付表	96

第1章 序論

1.1. 研究の背景

戦中・戦後の荒廃した林野を復興するために始まった復旧造林施策に続いて、昭和30年代から拡大造林施策が推進され、日本の人工林面積は1千万haに及ぶ規模に達した(藤田, 1997)。現在、これら人工林には造林学的な見地から、2つの問題がある。

第1の問題は、成林後の間伐が行われないうえに、林木が過密に生育する人工林が多いことである。このような人工林では、森林の構造が風害や冠雪害などの気象害に弱くなったり(Jalkanen and Mattila, 2000 ; Päätaalo, 2000)、下層植生が衰退して表土流亡が発生する(吉村ら, 1980)などの危険性がある。この問題は、林業の不振や林業労働力の減少など現在の社会情勢を背景とした、社会的・全国的な問題として捉えることができる。

第2の問題は、造林木が健全に育たず、成林できない造林地が存在することである。このような造林地は、「不成績造林地」(ある目的を持って造林したものの、造林木が成長する過程において何らかの原因で成林が阻害され、造林樹種による当初の目的が達成できない、あるいはできないと予測される造林地: 横井・山口, 1998)と呼ばれている。不成績造林地はその場所の気象条件、地形条件、土壌条件などが造林に適していないために生じることが多く、地域的あるいは局所的な問題であるといえる。しかしながら、それは造林行為そのものの失敗であることから、経済的な損失をはじめとする問題は重大であり、緊急な対処が必要である。そのためには、不成績造林地の成因を明らかにするとともに、その現況を正確に把握し、状況に応じた解決策を提示することが必要である。

不成績造林地の成因の1つに、幼齢期から若齢期にかけての造林地で発生する雪圧害がある。雪圧害による不成績造林地は、拡大造林の奥地化に伴って増加した(赤井ら, 1989a)。多雪地帯や豪雪地帯においても、拡大造林施策と燃料革命による薪炭材の需要の低下によって、旧薪炭林を主とした広葉樹林がスギ(*Cryptomeria japonica* D.DON)の人工林へ転換された(箕口, 2000)。スギは、造林樹種の中では雪に対して最も強い樹種である(石川, 1983)。それにもかかわらず、雪圧が原因でスギ造林木が損傷を受け、スギ木材生産林が成林しない造林地が生じ

ている。その事例は青森県 (Masaki et al., 2004), 山形県 (佐藤, 1990 ; 小野瀬, 1995a), 秋田県と岩手県 (大原・栗田, 1993), 宮城県 (皆川ら, 1990), 福島県 (鈴木・富樫, 1993), 新潟県 (前田ら, 1985), 岐阜県 (横井・山口, 1992), 石川県 (小谷・矢田, 1989 ; 小谷, 1990a), 兵庫県 (矢野ら, 1988 ; 矢野・榎谷, 1989 ; 赤井ら, 1989a, 1989b), 鳥取県 (前田, 1992) など, 本州日本海側の地域を主に各地で報告されている。スギ不成績造林地の問題は, 積雪地帯に共通の問題である。

日本の国土の多くは, 積雪地帯である (小島, 1966)。このことから, 雪圧害によるスギ不成績造林地の面積は広大であると推測される。今後の積雪地帯の林業や森林管理において, スギ不成績造林地は造林施策の失敗例として, あるいは施業対象として無視できない存在であるといえる。

積雪地帯でスギ不成績造林地が生じた原因を明らかにするためには, 自然的条件を検討し, 積雪環境に対するスギ造林の適地・不適地について再検討する必要がある。このことは, 今後の造林施策の指針にもなろう。一方で, スギ不成績造林地は, 森林所有者・造林者にとっての経済的問題であると同時に, 造林木が健全に育たないことによる公益機能の低下があれば, それは社会的な問題でもある。不成績造林地の今後の取り扱い方を策定するためには, 現存するスギ不成績造林地の実態を明らかにした上で, それに基づいて新たな施業方針や施業方法を検討することが必要である。

1.2. 積雪地帯のスギ不成績造林地に関する既往の研究

積雪地帯のスギ造林地が雪圧害のために不成績化する現象は, 1950 年代に, 既に指摘 (四手井ら, 1950 ; 四手井, 1954) されている。積雪がスギ人工林の成林阻害要因であることから, スギの拡大造林施策に対応して, 積雪とスギ造林に関する様々な研究が進められた。

積雪に対するスギ造林の適地判定の基準となる造林地帯区分は, 当初, 最深積雪深 2.5m 以下の「普通造林地帯」, 2.5 ~ 4.0m の「特殊造林地帯」, 4.0m 以上の「造林不可能地帯」の 3 区分 (秋田営林局造林推進委員会, 1961 ; 井沼・高橋, 1964) が発表された。特殊造林地帯とは, 特に雪害防除の特殊造林を行うことによって成林が可能と思われる地帯 (秋田営林局造林

推進委員会, 1961),あるいは,当時の造林技術では人工林の造成が不可能であるが,将来の技術開発によって人工林の造成の可能性のある地帯(井沼・高橋, 1964)とされている。これらと同様な造林地帯区分は,山形県(佐藤・今野, 1965)や新潟県(松田ら, 1968;野表, 1973)においても行われた。当時は造林地がそれほど奥地にまで広がっておらず,また,造林の結果を正しく評価できるだけの年数が経過した造林地も少なかった。これらの地帯区分は,予見に負うところが多かったものと推察される。

スギ造林が積雪地帯へ拡大するのに伴い,雪圧害の原因としての積雪の特性に関する研究(四手井, 1954;斎藤ら, 1969;片岡・石川, 1970;山谷・塚原, 1996 など)やスギ造林木の雪圧害に関する研究(四手井ら, 1950;羽田, 1961;石川ら, 1970;高橋・高橋, 1970;佐藤, 1974;小向ら, 1975;塚原ら, 1975;栗田ら, 1976;北村・今永, 1977;大谷ら, 1980;山口・戸田, 1980;遠藤ら, 1981;保坂ら, 1981, 1982;野表, 1988 など),スギ造林木の雪圧害を軽減するための技術に関する研究(佐藤, 1971, 1980b, 1981, 1984;野々田・山口, 1974a, 1974b;野表, 1975, 1976, 1980, 1984, 1986;野表ら, 1977;栗田・遠田, 1986;平, 1987 など),地域の積雪環境に関する研究(山口ら, 1978;佐藤, 1987)などが,東北地方や北陸地方を中心に進められた。これらの研究をとおして,積雪の物理的特性,雪圧による根元曲がりの形成過程,地形と雪圧害の発生の関係,雪起こしを中心とした雪圧害を軽減するための造林技術の効果など,積雪地帯におけるスギ人工林施業に関する基礎的な情報が蓄積された。

しかしながら,1980年代までの研究には,積雪地帯におけるスギ造林のあり方にまで議論を発展させた研究はほとんどなかった。その中であって,岐阜県飛騨地域の積雪環境に関する研究による「最深積雪深 2.5m 以上の林地では木材生産林の成林が困難と考えられるので,有用広葉樹を主とした天然更新施業が賢明である」という指摘(山口, 1978)や,富山県におけるスギ造林木の根元曲がりに関する研究から導かれた「最深積雪深 1.0 ~ 1.5m は根元曲がりが多くなるため短伐期優良材生産が難しく雪起こしの必要な地帯,最深積雪深 1.5 ~ 2.5m は幹折れなどの被害が急増し,樹高 1.5 ~ 2.0m 以上から雪起こしが必要な地帯,最深積雪深 2.5m 以上は木材生産林の造成が困難な地帯に区分する」との提言(平, 1987)は,これまでの造林地帯区分とは異なる新しい見解として注目される。

スギ不成績造林地に関する草分け的な研究は、阪上（1984）や前田ら（1985）である。阪上（1984）は、ブナ林の伐採跡地に造成されたスギ造林地において、スギの植栽がウダイカンバやブナの更新にプラスに作用したことや、ウダイカンバの成長量がスギをはるかに上回ることを明らかにし、ウダイカンバなどの広葉樹を育てる方がよいと結論している。前田ら（1985）は、豪雪地帯のスギ造林地において、雪圧害のために正常な形態のスギがないことと、スギに代わってブナが順調に生育する造林地と無立木地になると予想される造林地があることを示し、1) 既往造林地の実態調査の必要性、2) 当時示されていた造林限界を引き下げる必要性、3) 山地の最深積雪深を正確に把握する必要性、4) これらに基づいて造林限界以上と判断された場所でのブナ天然更新施業を行う必要性など、その後の研究につながる重要な指摘をしている。また、小野寺（1986）も、既往造林地の成林成績情報を活用して小地域的かつ具体的な積雪環境区分を行う必要性、多雪・豪雪地帯に存在する不成績造林地の取り扱いを検討する重要性を指摘している。

スギ不成績造林地の研究は、その現況を把握することから始められている。その結果、高木性広葉樹が混交する不成績造林地（大原・小野寺，1988；大原・栗田，1993；矢野ら，1988；矢野・榎谷，1989；赤井ら，1989a, 1989b；小谷，1990a；鈴木・富樫，1993；石塚・宇都木，1995）が多い一方で、スギ造林木以外の優占種がススキやササ類、低木性広葉樹となっている不成績造林地（佐藤，1990）も存在することなどが明らかにされた。また、積雪地帯における不成績造林地の類型化（小野寺，1988；小野瀬，1995a）も試みられている。これらの研究をとおして、スギ・広葉樹混交林がスギ不成績造林地を代表する森林タイプであることが明らかにされた（小野寺，1988；横井，2000）。

スギ不成績造林地に関する森林生態学的な研究として、スギ造林木および混生する広葉樹の成長過程（小谷，1988；赤井ら，1989b）、下刈りや除伐などの保育作業が不成績造林地の林分構造に及ぼす影響（高橋・野呂，1990；長谷川，1991，1998）、混生する広葉樹の種組成の特徴（長谷川・平，2000）が明らかにされている。これらの研究によって、スギ不成績造林地に現在の林型が成立した過程の一部が明らかになった。また、積雪地域の自然林において、雪圧害がスギの分布を制限している（Hirayama and Sakimoto，2003a，2003b）ことが示された。

不成績造林地の施業方法に関する研究では、除伐による改良試験（高原ら，1995；石田ら，2002）や、稚樹の刈出しやススキの除去とブナの植栽による改良試験（小野瀬，1995b）などが行われている。

これらの研究によって、スギ不成績造林地の取り扱い方法を議論するための基礎的な情報が蓄積されつつある。しかし、多くの研究は少数の事例を対象としたものであることから、各地域の不成績造林地の実態、初期保育と林分構造の関係などが必ずしも明らかになったとはいえない。そのため、不成績造林地の取り扱い方に関する指針は、いまだ示されていない。積雪環境や植生には地域特性があることから、今後は、特定の地域ごとに多くの調査データを集積して、スギ造林木と侵入広葉樹の関係や初期保育の違いが林分構造に及ぼす影響を明らかにし、その地域に適応した不成績造林地の施業指針を作成する必要がある。

一方、不成績造林地の存在が明らかになるにつれ、積雪地帯の広い範囲を対象としたスギ人工林の成林状況に関する研究が、山形県（佐藤，1986，1988）、福島県（鈴木ら，1993）、新潟県（野表，1987，1992）、鳥取県（前田，1999）で行われた。その結果に基づいて、スギ人工林の造林限界の見直しが行われつつある。これまでに、「最深積雪深 2.0m 未満であれば現行の技術で成林に問題ないが、最深積雪深 2.0 ～ 2.5m の地域は植栽年次や成長の違いが成林に影響する」という見解（野表，1987）、「最深積雪深 1.5m 未満の地域は木材生産林の成林に問題ないが、最深積雪深 1.5 ～ 2.0m の地域はスギ造林は可能であるものの雪圧害対策が重要であり、最深積雪深 2.0 ～ 2.5m になると木材生産林の成林が困難になる」という見解（前田，1999）が出されている。

今後は、このようなデータに基づいて検討されたスギ人工林の造林限界をスギ人工林の施業指針に加える必要がある。この場合、積雪環境が地域により異なる（佐藤，1980a）ことから、地域ごとに既存の人工林の成林状況を評価し、造林地帯区分を行う必要がある。また、最深積雪深以外の立地要因の成林に対する影響については十分に議論されていないため、それを明らかにすることが必要である。

1.3. 研究の目的と方針

本研究の目的は、積雪地帯におけるスギ人工林の不成績造林地に対して、より経済価値の高い森林を育成するための方策を、造林学的な見地から構築することである。

まず、積雪地帯の様々な立地におけるスギ人工林を調査し、その成林状況と立地条件の関係を検討する。これにより、不成績造林地化したスギ人工林の立地条件を明らかにするとともに、スギ人工林の造林限界について検討する。造林限界の明示は、スギ不成績造林地の発生を未然に防ぐうえでの重要な情報になる。

つぎに、スギ不成績造林地やそれに由来するスギ・広葉樹混交林を調査して、それらの実態や成立過程について検討する。さらに、スギ不成績造林地の除伐による改良試験を実施し、その効果を検証する。これらの結果から、現存するスギ不成績造林地をより健全で経済価値の高い森林に誘導・改良する方法と、造林地が不成績化する危険性を有する積雪地帯におけるスギ人工林の施業指針について検討する。

本論文は、全7章で構成されている。

第2章「研究対象地域の概要」では、研究対象地域の地形、気象、森林の特徴を述べる。

第3章「積雪地帯におけるスギ人工林の成林状況」では、スギ人工林の調査結果から、スギ人工林の成林状況に対する立地要因の影響を検討する。まず、スギ造林木の経済性を損ねる大きな要因であるとともに、スギ人工林の成林阻害に関与する因子でもある、「根元曲がり」に対する立地要因の影響を明らかにする(3.1; 横井・山口, 1993)。つぎに、スギ造林木の消失やスギ造林木の幹の形状を考慮したスギ人工林の成林状況を、成林度という指標で評価し、成林度と立地要因との関係を明らかにする(3.2; 横井・山口, 2000a)。

第4章「スギ不成績造林地の林分構造」では、不成績造林地化したスギ人工林の調査結果から、その実態と成立過程を明らかにする。まず、不成績造林地におけるスギ造林木の生育実態を示し、不成績造林地の問題点とその林分構造の概略を明らかにする(4.1; 横井・山口, 1998)。次いで、天然更新した広葉樹を含めたスギ不成績造林地の林分構造(4.2; 横井・山口, 1992)、スギ植栽後の保育作業が林分構造に及ぼす影響(4.3; 横井・山口, 2000b)について検討する。また、スギ不成績造林地に生育する広葉樹の種組成の特徴を考察する(4.4; 横井, 2005b)。

この章の最後では、第 3 章 (3.2) で検討した成林度と立地要因の関係をもとに、スギ不成績造林地の面積を森林簿から推定する方法を検討する (4.5 ; 横井, 2003)。

第 5 章「スギ造林に由来する壮齢スギ・広葉樹混交林の林分構造と成立過程」では、スギ不成績造林地に成立した壮齢のスギ・広葉樹混交林の調査結果から、その林分構造と成立過程を検討し、スギ不成績造林地が将来の目標とする林型について考察する (横井・山口, 2004 ; 横井, 2005a)。

第 6 章「スギ不成績造林地の除伐による改良」では、広葉樹が混交する不成績造林地において、除伐試験を行い、その結果から除伐の効果を検討する。

第 7 章「総合考察」では、第 3 章から第 6 章までの結果から、積雪地帯におけるスギ人工林の不成績造林地問題に対処するための考察を行う。ここでは、スギ人工林の造林限界と積雪地帯におけるスギ人工林の施業指針を提案する。

第2章 研究対象地域の概要

2.1. 研究対象地域の位置と地形

岐阜県には、森林法に基づく森林計画区が5区ある。本研究は、そのうちの日本海側の流域を主な範囲とする「宮・庄川森林計画区」の民有林を対象に行った。本計画区には、2004年3月現在、高山市、飛騨市（旧古川町、神岡町、河合村、宮川村）、国府町、上宝村、宮村、清見村、丹生川村、庄川村、白川村が含まれる。計画区の面積は、岐阜県の26.6%に当たる281,607haである（岐阜県、2000）。

研究対象地域は、東・南・西の3方を山脈や分水嶺によって囲まれている。地域を囲む山脈・分水嶺は、東側が長野県と境をなす飛騨山脈（標高約2,500～3,000m）、南側が太平洋側水系と日本海側水系を分かつ位山分水嶺（標高約1,000～1,800m）、西側が石川県と県境を形成する白山山脈（標高約1,700～2,700m）である。地域内は天生山脈を境に東西に分かれ、東側は神通川の上流である高原川流域と宮川流域、西側は庄川流域となっている。

研究対象地域は、全体が飛騨山地あるいは飛騨高原を形成し、標高が高く、壮年期の山地であるとされる山腹斜面はかなり急峻である（牛丸、1966）。ただし、富山県境に近い北部の河川沿いは、標高がやや低い（標高約200～350m）。

2.2. 研究対象地域の気象

研究対象地域は気候的には内陸性気候に属し、気温の年較差が大きく寒冷期は長い（長野、1966）。月別の降水量の分布からみると、この地域は冬季の降水量が多い、日本海型の気候であ

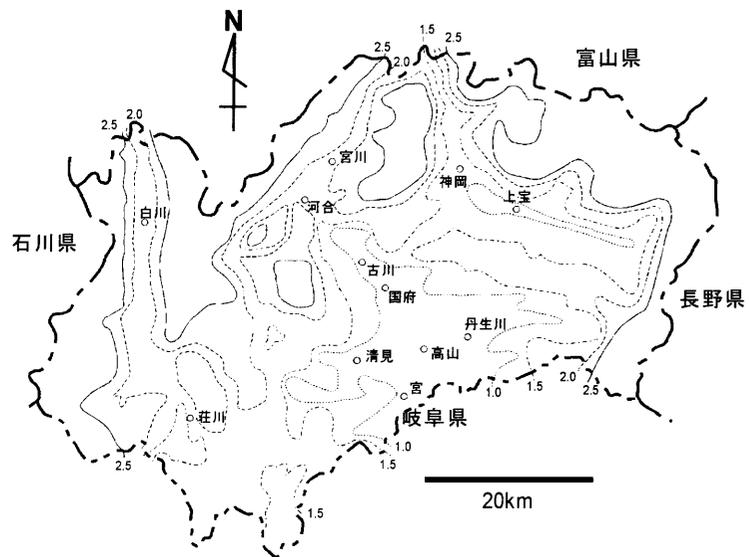


図-2.1 岐阜県北部における最深積雪深等値線図

点線は1.0m、一点鎖線は1.5m、破線は2.0m、実線は2.5mの最深積雪深等値線を示す。白丸は市役所・町村役場(旧)の位置を示す。本図は、山口ら(1978)、岐阜県林政部(1981)、岐阜県森林科学研究所内部資料から作成した。

る。

研究対象地域は、大部分が最深積雪深 1.0m 以上の地域であり、特に北部から西部にかけての山地は積雪量が多い（山口ら，1978）（図－2.1）。雪の降り方は、北陸地方の降雪型（初冬に降雪が多く，1月下旬から2月中旬に最深積雪をみることが多い）に近い（佐藤，1980a）。この地域の雪質分布は、庄川，宮川，高原川などの大きな河川沿いで「しまり雪」と「ざらめ雪」が混合して出現する以外は，大部分がしまり雪地帯である（山口ら，1978）。雪質やその変態（ざらめ雪化）の過程を他の地方と比較すると，この地域の積雪は，東北地方の日本海側と北陸地方の中間的な性質をもつ（佐藤，1980a）。

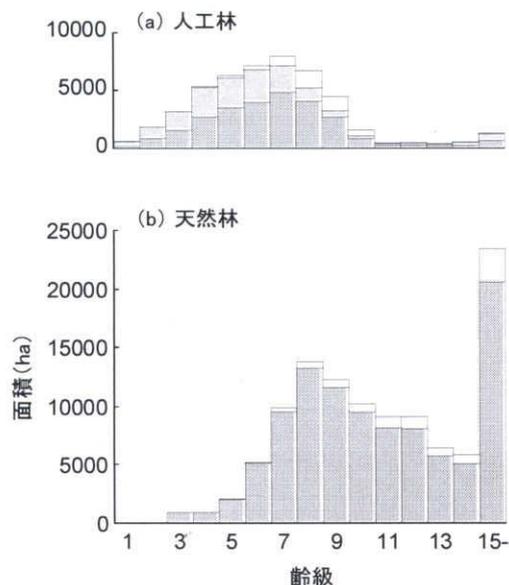
2.3. 研究対象地域の森林の概況

研究対象地域は，大部分が冷温帯に属している。ただし，一部の高標高域に寒帯や亜寒帯が，河川沿いの比較的標高の低い地域に中間温帯が分布している。本研究の調査地は，すべてが冷温帯に属していた。

研究対象地域のフロラは，「日本海地域植物区」に該当し，さらに「日本アルプス植物区」，「白山植物区」，「飛騨高原植物区」に細分される（水野，1985）。本研究の調査地は，すべて飛騨高原植物区に含まれていた。

宮・庄川森林計画区内の森林面積は 261,600ha で，森林率は 93 %である（岐阜県，2000）。計画区内の私有林の人工林率は 30.7%（1999年3月）で，岐阜県の私有林全体の人工林率 45.7%（1999年3月）や全国の人工林率 41%（1995年3月）と比較すると低い。

図－2.2 は同計画区内の私有林の年齢分布（1999年3月）である。なお1年齢は，年齢にして5年である。



図－2.2 宮・庄川森林計画区の私有林の年齢分布

(a)人工林の網掛けはスギ人工林，斜線はヒノキ人工林，白抜きはその他の人工林を示す。(b)天然林の網掛けは広葉樹天然林，白抜きはその他の天然林を示す。本図は，岐阜県（2000）から作成した。

この区の人工林は、4～9 齢級のものが多い。すなわち、これら人工林の多くは、戦後の拡大造林施策によって造成されたものである。人工林の多くは、スギ人工林である。これは、本地域の大半が積雪地帯であることによる。ヒノキ人工林がみられるのは、南部から南西部にかけての最深積雪深 1.5m 以下の地域に限られる（竹ノ下・中垣，1984）。

天然林は多くが落葉広葉樹二次林で、齢級のピークは 8 齢級にある。これら広葉樹二次林の多くは、薪炭材や家具・建築用材、パルプ材、きのこ栽培用の原木などを得るために、広葉樹林が伐採された跡地に天然更新した森林である。1984 年において、宮・庄川森林計画区の民有林に分布する広葉樹の樹種別蓄積割合は、多い順にコナラ 33 %，ミズナラ 18 %，ブナ 12 %であった（中川，1987）。同資料に基づく森林タイプ（上層木の本数割合 50 %を基準に区分）は、多くの樹種が混生する混生林が 40 %，コナラ林が 34 %，ミズナラ林が 12 %，ブナ林が 9 %，その他が 5 %であった（戸田，1993）。

このように、研究対象地域で量的に最も多い広葉樹はコナラである。しかし、コナラは標高 1,000m 未満に多く（中川，1987），また最深積雪深の大きいところ（長谷川，1985；中川，1989；兼平，1992）や根雪期間の長いところ（小島，1975）には分布しない。本研究の調査地のほとんどは積雪地帯の高標高地にあるため、コナラの分布域からはずれており、ミズナラやブナの分布域にある。

第3章 積雪地帯におけるスギ人工林の成林状況

3.1. スギ造林木の根元曲がりの大きさと立地要因の関係

3.1.1. 目的

林木の積雪に対する適応形態である「スギの根元曲がり」(片岡・佐藤, 1959; 小野寺, 1990)は、積雪地帯において普通にみられる現象である。この根元曲がりの形成により、市場価格の高い一番玉の評価は著しく低下する。さらに、幹の上部にも「曲がり返し」が生じる場合がある。また、根元曲がりが大きくなるほど、林木が致命的な被害(根元折れや根元割れなど)を受けやすくなる(Dolukhanov, 1978; 小野寺, 1990)。このように、根元曲がりは、経済的な損失を招くばかりか、人工林の成林を阻害する因子でもある。したがって、根元曲がりの程度は、スギ造林木が受けた雪圧の程度を示す直接の指標であるとともに、スギ人工林の成績を計る指標としても有効である。

根元曲がりの程度には、積雪深をはじめとする各種の立地要因が影響すると考えられる。スギ造林木の根元曲がり と立地要因との関係は、根元が曲がった幹の部分の水平長と積雪深・斜面傾斜角の関係(野表, 1987)や傾幹幅と斜面傾斜角の関係(平, 1987)、根元曲がりの出現率と斜面方位・斜面傾斜角・標高などの関係(羽田, 1961)、単木の傾幹幅・根株長と局所の斜面傾斜角・地形曲率との関係(大谷ら, 1990)などが、これまでに検討されている。しかし、根元曲がりの程度を、積雪深、斜面方位、斜面傾斜角など複数の立地要因の相互作用から検討した例はみられない。雪圧に影響する立地要因の多様さ、それら要因が独立でないことを考えると、根元曲がりの程度を決定づける要因を明らかにするには、多種の要因を同時に調査・解析することが必要である。

本節では、調査対象地域のスギ造林木の根元曲がりの程度と立地要因の関係を、数量化分析を用いて解析した。

3.1.2. 調査地と方法

3.1.2.1. 調査地

調査地は、最深積雪深が 1.0 ～ 3.0m の範囲にある 102 ヶ所のスギ人工林 (14 ～ 35 年生；標高 470 ～ 1,150m) である (図-3.1)。

14 ～ 35 年生の林分を対象にした理由は、この林齢では、根元曲がりの状態が安定すること (佐藤・今野, 1965；山口・戸

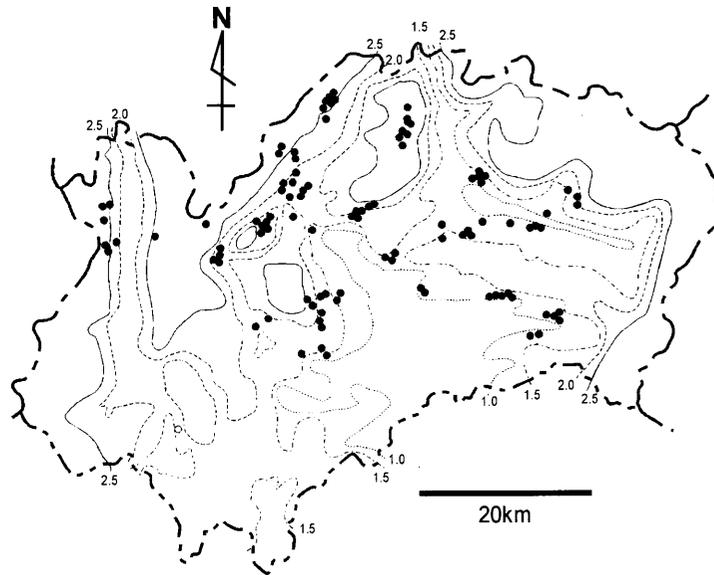


図-3.1 岐阜県北部における最深積雪深の等値線と調査地の位置
点線は1.0m、一点鎖線は1.5m、破線は2.0m、実線は2.5mの最深積雪深等値線を示す。黒丸は調査地の位置を示す。

田, 1980), および成長に伴う根元曲がりの回復が進行する以前の状態にあることによる。

3.1.2.2. 調査方法

1989 ～ 1991 年に、各調査地に方形区 (57 ～ 239m²) を設定し、スギ上層木 (直達光を受ける位置に樹冠があるもの) の毎木調査と立地環境調査を行った。

毎木調査では、胸高直径と樹高 (地際から梢端までの直線距離)、根元曲がりの程度を測定し、幹曲がりの程度と被害形態を観察した。根元曲がりの程度は、樹幹の中心を通る曲線を想定し、その曲線が地面と交わる点から樹幹が通直になる変曲点までの幅 (根元曲がり水平長) と高さ (根元曲がり鉛直高) を測定した (図-3.2)。ただし、曲がりが樹幹全体に及んで変曲点が存在しない個体は、根元曲がり水平長と根元曲がり鉛直高が測定できなかった。なお、幹曲がりと被害形態については次節 (3.2) で検討する。

各調査地の立地環境として、最深積雪深、標高、斜面方位、斜面傾斜角、斜面上での位置、斜面の横断面と縦断面の形状、土壌型について調査した。最深積雪深は、岐阜県

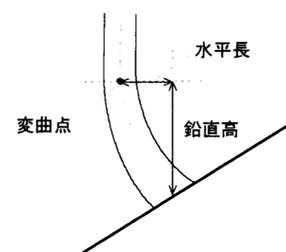


図-3.2 スギの根元曲がりの測定方法

林政部（1981）と山口ら（1978）から積雪深 0.5m ごとの区分で読みとった。標高は、森林計画図（縮尺 1/5,000）から 10m 単位で読みとった。斜面方位と斜面傾斜角は、クリノメーターを用いて現地で計測した。また、斜面上での位置は尾根部・山腹上部・山腹中部・山腹下部・山脚部の 5 区分で記録し、斜面の形状は横断面と縦断面をそれぞれ平衡地形・凹地形・凸地形の 3 区分で記録した。

3.1.2.3. 立地要因と根元曲がりの大きさの関係の解析

立地要因がスギの根元曲がりに及ぼす影響を、数量化 I 類（田中・垂水，1995）を用いて解析した。

外的基準は、根元曲がり鉛直高と根元曲がり水平長それぞれの、各調査地での算術平均値とした。平均値を算出するとき、前述の根元曲がりの変曲点が特定できない個体や極端な斜立木は計算から除外した。

説明変数として、最深積雪深、標高、斜面方位、斜面傾斜角、斜面上の位置、斜面の横断面、斜面の縦断面、土壌型の 8 要因を候補に挙げた。立木の本数密度は、積雪の移動圧に影響する要因（相浦，2005）であるが、根元曲がりの形成期においては、造林木に積雪の移動を抑制する効果はないと考え、説明変数から除外した。

各要因のカテゴリーは、以下のように区分した。最深積雪深と縦断面、横断面は調査時の区分をそのまま用い、斜面上の位置は尾根部と斜面上部とを一つのカテゴリーにまとめた。斜面方位は東・西・南・北の 4 方位に区分し、土壌型は乾燥系と適潤・湿潤系に区分した。標高と斜面傾斜角は、駒澤（1982）の方法に基づき、標高を 0～749m，750～899m，900m 以上の 3 カテゴリー、斜面傾斜角を 0～9 度，10～21 度，22～33 度，34 度以上の 4 カテゴリーに区分した。

3.1.3. 結果

3.1.3.1. 根元曲がり水平長と鉛直高の関係

根元曲がり水平長と根元曲がり鉛直高には、比例関係がみられた（図－3.3）。根元曲がり水

平長が約 70cm 以下では、根元曲がり水平長の増加に対して、根元曲がり鉛直高は急激な増加を示した。根元曲がり水平長がそれより大きい部分では、根元曲がり水平長の増加に対する根元曲がり鉛直高の増加は、緩やかであった。

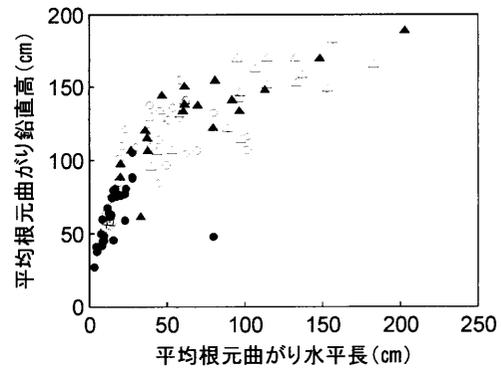


図-3.3 根元曲がり水平長と根元曲がり鉛直高の関係

●は最深積雪深1.0~1.5m, ○は最深積雪深1.5~2.0m, ▲は最深積雪深2.0~2.5m, △は最深積雪深2.5~3.0mを示す。

3.1.3.2. 根元曲がりの大きさと立地要因の関係

数量化 I 類による解析に先立ち、分割表によるカイ 2 乗検定を用いて、要因間の独立性を決定した ($\alpha = 0.05$)。その結果、互いに独立性が棄却されなかった最深積雪深、斜面方位、斜面傾斜角、斜面の縦断面、土壌型の 5 要因を説明変数に選んだ。

表-3.1 に、数量化 I 類分析の結果を示す。根元曲がり鉛直高と根元曲がり水平長のどちらを外的基準としたときも、重相関係数は有意 ($p < 0.01$) であり、説明力は 66 %であった。

表-3.1 根元曲がりの大きさと立地要因

要因	カテゴリー	度数	根元曲がり鉛直高			根元曲がり水平長		
			スコア	レンジ	偏相関係数	スコア	レンジ	偏相関係数
最深積雪深	1.0~1.5m	29	-42.5	81.1	0.798**	-36.2	86.9	0.779**
	1.5~2.0m	35	-2.7			-10.7		
	2.0~2.5m	19	31.2			24.3		
	2.5~3.0m	19	38.6			50.6		
斜面傾斜角	0~9度	12	-23.6	31.5	0.408**	-26.0	44.2	0.525**
	10~21度	15	-8.9			-19.2		
	22~33度	38	3.3			-1.9		
	34~44度	37	7.9			18.2		
斜面方位	北	35	-1.5	8.2	0.131	7.0	14.9	0.219
	東	20	-1.4			-4.5		
	南	27	5.2			0.1		
	西	20	-3.0			-7.9		
土壌型	乾燥系 ¹	37	3.9	6.1	0.123	5.6	8.7	0.160
	適潤・湿潤系 ²	65	-2.2			-3.2		
斜面の縦断面	凸	28	2.0	3.2	0.064	-4.5	9.0	0.112
	平衡	64	-1.2			1.2		
	凹	10	1.8			4.6		
定数			103.6			50.8		
重相関係数 (決定係数)			0.809** (0.655)			0.810** (0.656)		

1 : BB型, BC型, B1C型, BD(d)型。

2 : BD型, BE型, B1D型, B1E型。

** : $p < 0.01$ で有意。

根元曲がり鉛直高、根元曲がり水平長とも、偏相関係数が有意であった要因は、最深積雪深 ($p < 0.01$) と斜面傾斜角 ($p < 0.01$) であった。偏相関係数とレンジからみて、根元曲がりの程度に最も強い影響力を持つ要因は最深積雪深で、2 番目に強い影響を及ぼす要因は斜面傾斜角であった。

最深積雪深のスコアは、積雪深が大きいほど大きかった。その傾向は根元曲がり水平長で顕著であり、根元曲がり鉛直高では最深積雪深 2.0 ~ 2.5m と 2.5 ~ 3.0m とでスコアに大きな違いがなかった。斜面傾斜角のスコアは、傾斜角が大きいほど大きかった。

3.1.3.3. 最深積雪深階別にみた斜面傾斜角と根元曲がりの関係

斜面傾斜角と根元曲がり鉛直高の関係をみると、回帰直線はどの最深積雪深階でも傾きが緩く、互いにほぼ平行であった (図-3.4)。また、回帰直線の切片は、最深積雪深 2.0 ~ 2.5m までは積雪深が大きいほど大きかったが、最深積雪深 2.0 ~ 2.5m と 2.5 ~ 3.0m ではほぼ同じであった。根元曲がり鉛直高は、積雪深によってある程度の大きさが決まること、その大きさ

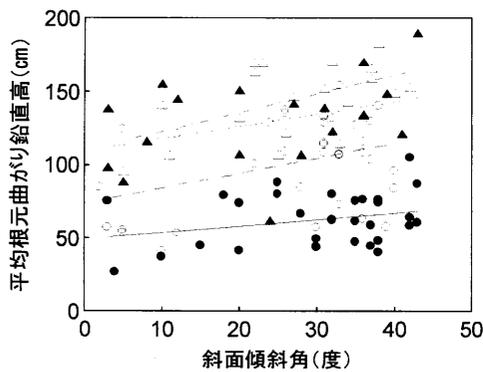


図-3.4 斜面の傾斜と根元曲がり鉛直高の関係

●は最深積雪深1.0~1.5m, ○は最深積雪深1.5~2.0m, ▲は最深積雪深2.0~2.5m, △は最深積雪深2.5~3.0mを示す。図中の直線は、平均根元曲がり鉛直高 (y) の斜面傾斜角 (x) への回帰直線である。

実線：最深積雪深1.0~1.5m

$$y = 0.46x + 49.3 \quad (r = 0.285)$$

破線：最深積雪深1.5~2.0m

$$y = 1.02x + 73.8 \quad (r = 0.391^*)$$

点線：最深積雪深2.0~2.5m

$$y = 0.83x + 110.2 \quad (r = 0.381)$$

一点鎖線：最深積雪深2.5~3.0m

$$y = 1.27x + 109.9 \quad (r = 0.532^*)$$

ただし、*は $p < 0.05$ で有意であることを示す。

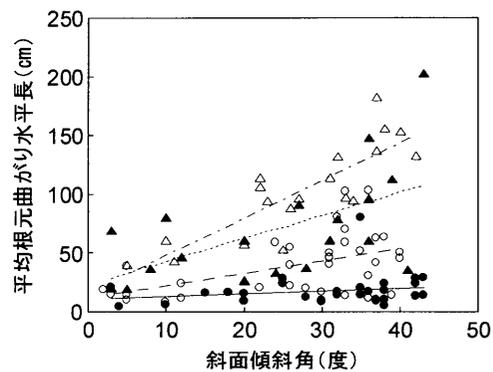


図-3.5 斜面の傾斜と根元曲がり水平長の関係

●は最深積雪深1.0~1.5m, ○は最深積雪深1.5~2.0m, ▲は最深積雪深2.0~2.5m, △は最深積雪深2.5~3.0mを示す。図中の直線は、平均根元曲がり水平長 (y) の斜面傾斜角 (x) への回帰直線である。

実線：最深積雪深1.0~1.5m

$$y = 0.25x + 10.4 \quad (r = 0.202)$$

破線：最深積雪深1.5~2.0m

$$y = 1.06x + 11.5 \quad (r = 0.499^{**})$$

点線：最深積雪深2.0~2.5m

$$y = 1.98x + 22.3 \quad (r = 0.574^*)$$

一点鎖線：最深積雪深2.5~3.0m

$$y = 3.20x + 16.3 \quad (r = 0.838^{**})$$

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

は最深積雪深 2.0m 以上になると頭打ちになることがわかった。また、斜面傾斜角が大きくなるほど根元曲がり鉛直高は増加するが、その増加量は大きくないことがわかった。

一方、斜面傾斜角と根元曲がり水平長の関係では、回帰直線の切片は、どの最深積雪深階でも大差なく、その値は小さかった（図－3.5）。回帰係数は、最深積雪深が大きいほど大きかった。これらのことから、傾斜が緩い斜面では、根元曲がり水平長は最深積雪深に関係なく小さいこと、および、斜面傾斜角の根元曲がり水平長への影響は、最深積雪深が大きいほど強いことがわかった。

3.1.4. 考察

根元曲がりの大きさは、最深積雪深と斜面傾斜角の影響を強く受けていた（表－3.1, 図－3.4, 3.5）。これは、既報の結果（塚原ら, 1975；戸田・山口, 1980；野表, 1987 など）と同じであった。積雪の沈降圧（積雪が変態と自重によって沈下するとき、埋雪物に加わる力）が積雪量に比例し、移動圧（斜面上の積雪が重力の作用を受けて下方に滑るときに発生する力）が積雪量の 2 乗と斜面傾斜角に比例する（四手井, 1954）ことによると考えられる。

根元曲がり鉛直高と根元曲がり水平長では、積雪深と斜面傾斜角の影響のしかたが異なっていた（図－3.4, 3.5）。スギの根元曲がりには、樹幹の下部から順に固定される（平, 1987）。このとき、根元曲がりの変曲点は、根元曲がり最終的に固定されるまで樹幹の上方へと移動する。斜面傾斜角が小さいときは、積雪の移動圧が小さいので樹幹の傾きが小さく、変曲点の樹幹上方への移動量は水平成分より鉛直成分の方が大きい。また、積雪量が大きくなるほど、根元曲がり固定されるまでの年数が長くなるため、積雪深に応じて根元曲がり鉛直高が大きくなるものと考えられる。これに対して、斜面傾斜角が大きいときは、樹幹の倒伏量が大きくなり（平, 1987）、これによって変曲点の移動量は水平方向に大きくなる。

また、根元曲がり水平長に対する根元曲がり鉛直高の大きさに、頭打ちがみられ（図－3.3）、最深積雪深 2.0m 以上では、積雪深が大きくなっても根元曲がり鉛直高は変わらなかった（表－3.1, 図－3.4）。これらの理由として、次の 2 つのことが考えられる。1 つは、根元曲がり固定した林木でも積雪が多くなると、根系の切断が生じて樹幹が根元から傾く（平, 1987）

ことである。この樹幹の倒伏の結果、根元から樹幹上の任意の点までの水平成分は大きくなり（根元曲がり水平長の増加）、鉛直成分は小さくなる（根元曲がり鉛直高の減少）。山口・戸田（1980）も、豪雪地でスギの樹高が高くなってから、根元曲がり水平長の増加量が大きくなることを報告している。もう1つは、根元曲がりが大きくなると、曲がり部が樹幹の上部にまで及ぶため、根元曲がりとしての認識ができなくなることである。人間が根元曲がりとして認識する限界は、根元曲がり鉛直高に対して150～200cmであることが考えられる。

3.2. スギ人工林の成林状況とそれに影響する立地要因

3.2.1. 目的

スギ不成績造林地の問題を検討するには、まず、造林地の不成績化が発生している場所の特性を明らかにする必要がある。すなわち、既存のスギ人工林の成林状況（本研究では、当初の造林目的を達成できる森林が成立することを「成林」とする）を評価し、何が成林の可否に影響したのかを解明することが必要である。この情報は、今後のスギ造林において、造林適地を判定するさいにも応用できる。

前節（3.1）では、雪圧害の被害形態として最も一般的である根元曲がりについて、その大きさを決定づける最大の要因が最深積雪深、次いで影響力の大きい要因が斜面傾斜角であることを明らかにした。しかし、雪圧害の被害形態には根元曲がりの他に、樹幹が湾曲する「幹曲がり」、樹幹の折損する「幹折れ」、樹幹が裂けるように割れる「幹割れ」など様々な形態がある。本節では、これら他の被害形態も考慮してスギ人工林の成林状況を判定し、成林状況と立地要因との関係を解析する。

3.2.2. 調査地と方法

3.2.2.1. 調査地と調査方法

調査地は、前節（3.1）に示した102ヶ所の調査地である。ここで、毎木調査と立地環境調査を行った（本章3.1.2.2）。幹曲がりの程度は、根元曲がり部を除いた部分で、長さ3mの材の収穫が期待できる程度の曲がりを「幹曲がり小」、その収穫が期待できないほどの大きい曲

がりを「幹曲がり大」とした。林木の被害形態として、根元折れ（根元曲がりの部分での樹幹の折損）、根元割れ（根元曲がりの部分での樹幹の縦断方向の割れ）、幹折れ（根元曲がりの部分より上方での樹幹の折損）、梢端折れ（樹幹の梢端部での折損）、二又（樹幹の分岐）、斜立（樹幹全体の傾き）の有無について記録した。

3.2.2.2. 林木の健全度の区分と林分の成林度の算出

スギ人工林の成林状況は、佐藤（1986）と野表（1987）を参考に考案した指標「成林度」によって評価した。

まず、個々のスギ造林木について、幹の形状の健全性（「健全度」とする）を、根元曲がり水平長と幹曲がりの程度、被害形態から3区分に評価した。健全度 a は、根元曲がり水平長 ≤ 1m、かつ「幹曲がり小」、かつ、いずれの被害形態もみられなかったものとした。健全度 a は、用材としての利用が期待できることを示す。健全度 c は、根元曲がり水平長 > 2m、または致命的な被害形態（根元折れ、根元割れ、幹折れ）がみられたものとした。健全度 c は、高木に成長することが期待できないことを示す。健全度 a と健全度 c 以外は、健全度 b とした。健全度 b は、用材としての利用は期待できないが、高木に成長することは期待できることを示す。

つぎに、各調査地のスギ造林木の平均樹高を「岐阜県の多雪地帯におけるスギ一般大径材生産施業基準」（岐阜県林政部，1981）に当てはめ、このときの本数密度を基準密度とした。「成林度」は、式（3.1）および式（3.2）によって求めた。

$$\text{成林度 A} = \text{健全度 a の本数密度} / \text{基準密度} \times 100 \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\text{成林度 B} = (\text{健全度 a の本数密度} + \text{健全度 b の本数密度}) / \text{基準密度} \times 100 \dots\dots (3.2)$$

ここで、成林度 A はスギ木材生産林としての成林の指標、成林度 B はスギ高木林としての成林の指標とした。成林度が 100 を超えた場合は、成林度 100 とした。成林度 100 は、調査地がスギ木材生産林、あるいはスギ高木林として十分に成林することを示し、成林度 0 は、それら

の成林の見込みが全くないことを示す。

3.2.2.3. 立地要因と成林度の関係の解析

立地要因が成林度に及ぼす影響は、数量化 I 類（田中・垂水，1995）を用いて解析した。外的基準は、成林度 A と成林度 B とした。説明変数は調査した 8 要因（最深積雪深，標高，斜面方位，斜面傾斜角，斜面上の位置，斜面の横断面，斜面の縦断面，土壤型）のうち互いに独立な最深積雪深，斜面方位，斜面傾斜角，斜面の縦断面，土壤型の 5 要因（本章 3.1.3.2）とした。

3.2.3. 結果と考察

3.2.3.1. 調査林分の概況

調査林分の平均胸高直径，平均樹高，上層木の本数密度，健全度別の本数密度は，調査地による変動が大きかった（表－ 3.2）。これらの林分に対する基準密度は 500 ～ 3,000 本/ha であり，成林度 A は 0 ～ 100，成林度 B は 11.3 ～ 100 と判定された。

表－3.2 調査林分の概要

	範囲
林齢(年)	14～35
平均胸高直径(cm)	7.9～29.8
平均樹高(m)	3.6～19.0
上層木の本数密度(本/ha)	777～3944
健全度 a の本数密度(本/ha)	0～3733
健全度 b の本数密度(本/ha)	0～2727
健全度 c の本数密度(本/ha)	0～1765

それぞれの積雪深階において，スギ造林木に発生した各被害形態がみられた林分数の全調査林分数に対する割合を被害林分出現率として，表－ 3.3 に示した。ただし，根元曲がりはずべての調査林分に生じていたため，表には示さなかった。根元折れと根元割れは最深積雪深 1.5m 以上に，斜立は最深積雪深 2.0m 以上にみられた。幹折れ，梢端折れ，二又，幹曲がりはずべての積雪深階でみられた。被害林分出現率は，「梢端折れ」と「二又」の出現率が最深積雪深 2.0

表－3.3 被害形態別の被害林分出現率

最深積雪深 (m)	被害林分出現率(%)						
	根元折れ	根元割れ	幹折れ	梢端折れ	二又	斜立	幹曲がり ¹⁾
1.0～1.5	0	0	6.9	10.3	10.3	0	69.0
1.5～2.0	2.9	2.9	51.4	20.0	22.9	0	88.6
2.0～2.5	0	10.5	73.7	36.8	42.1	36.8	100
2.5～3.0	21.1	26.3	78.9	31.6	26.3	42.1	100

1: 「曲がり大」のもの。

～2.5mより最深積雪深2.5～3.0mで低かった以外は、どの被害形態でも最深積雪深が大きいと高くなる傾向にあった。これらの被害形態は、林木が雪圧害を受けたときにみられる被害形態（四手井，1954；平，1984；小野寺，1990）である。また、豪雪地帯では雪圧害が成林に最も大きく関与している（野表，1992）。したがって、成林度の低い林分は雪圧害が原因で生じたと考えられる。

3.2.3.2. スギ人工林の成林度とそれに及ぼす立地要因の影響

表-3.4は、数量化I類による解析結果である。成林度A、成林度Bのどちらに対しても、5要因による重相関係数は有意であった（ $p < 0.01$ ）。5要因による説明力は成林度Aが55%、成林度Bが37%であった。各要因のレンジと偏相関係数は、両成林度とも最深積雪深が最も大きく、その偏相関は有意であった（ $p < 0.01$ ）。次いで、斜面傾斜角と縦断面のレンジと偏相関係数が大きく、斜面方位と土壌型のレンジと偏相関係数は小さかった。このことから、最深積雪深は、成林度に対して決定的な影響力を持つ要因であり、斜面傾斜角と縦断面は、方位や土壌型に比較すれば影響力の大きい要因であると考えられる。

表-3.4 スギ人工林の成林度に対する立地要因の影響（数量化I類分析）

要因	カテゴリー	度数	成林度A			成林度B		
			スコア	レンジ	偏相関係数	スコア	レンジ	偏相関係数
最深積雪深	1.0～1.5m	29	31.3	77.5	0.707**	10.3	30.9	0.581**
	1.5～2.0m	35	9.5			6.5		
	2.0～2.5m	19	-19.1			-7.0		
	2.5～3.0m	19	-46.2			-20.6		
斜面傾斜角	0～9度	12	12.5	22.9	0.303	-0.0	12.4	0.244**
	10～21度	15	16.5			8.3		
	22～33度	38	-4.1			0.8		
	34～44度	37	-6.5			-4.2		
斜面の縦断面	凸	28	10.9	22.8	0.247	1.9	11.3	0.187
	平衡	64	-2.9			0.6		
	凹	10	-11.9			-9.3		
斜面方位	北	35	-7.5	13.2	0.197	-2.2	5.9	0.127
	東	20	5.2			3.7		
	南	27	1.8			0.3		
	西	20	5.7			-0.3		
土壌型	乾燥系 ¹	37	-6.8	10.6	0.178	-2.0	3.1	0.092
	適潤・湿潤系 ²	65	3.9			1.1		
定数			62.5			89.9		
重相関係数（決定係数）			0.743** (0.552)			0.611** (0.374)		

1：BB型，BC型，B1C型，BD(d)型。

2：BD型，BE型，B1D型，B1E型。

**： $p < 0.01$ で有意。

成林度 A は、最深積雪深 1.0～1.5m にある調査地の 89.7% で、成林度 90 以上を示した（図-3.6）。この地域のスギ人工林は、木材生産林として成林する可能性が高いと考えられる。最深積雪深 1.5～2.0m と 2.0～2.5m での成林度 A は、0～10 から 90～100 の広い範囲に分布しており、前者は 90～100 で最も頻度が高く、後者は 0～10 と 90～100 の頻度が高かった。最深積雪深 2.5～3.0m では、成林度が 60 を越える調査地が存在せず、低い成林度ほど頻度が高かった。最深積雪深が 2.5m を超える地域では、木材生産林が成林する可能性は低いと考えられる。また、全体として、成林度 0～10 と 90～100 の両極端域での頻度が高いことが特徴であった。

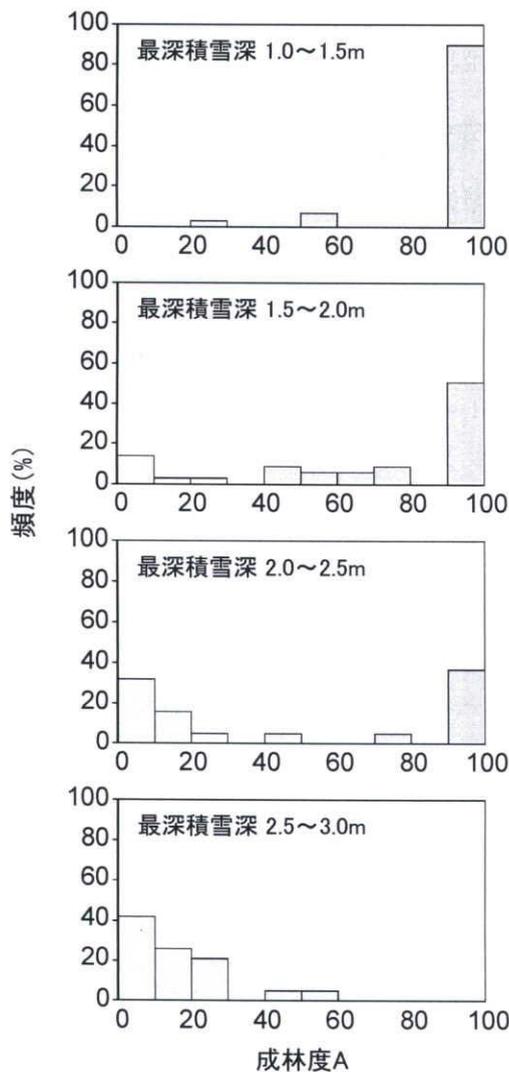


図-3.6 成林度 A の頻度分布

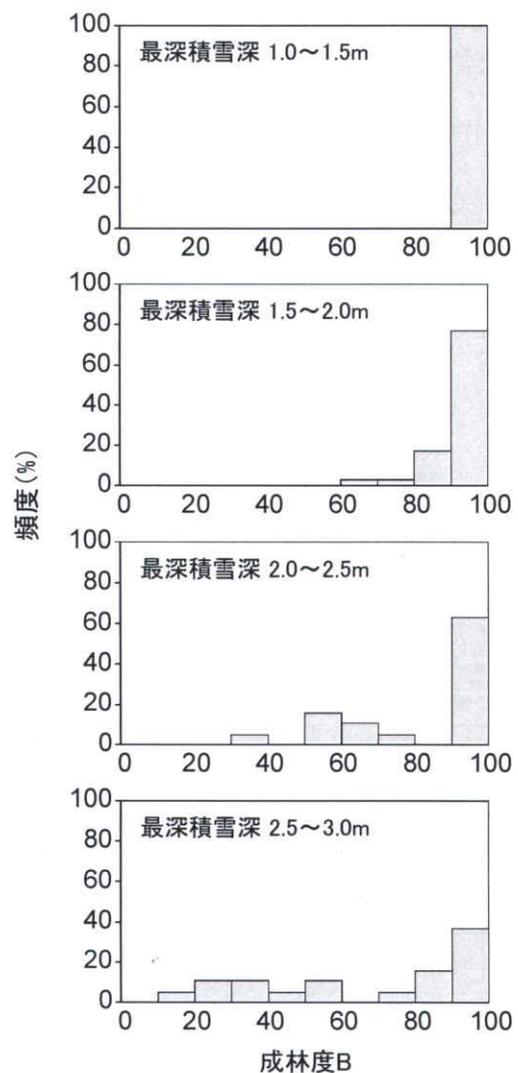


図-3.7 成林度 B の頻度分布

成林度 B は、最深積雪深 1.0 ～ 1.5m の調査地のすべて、および 1.5 ～ 2.0m の調査地の 77.1 %が、90 ～ 100 の成林度であった（図－ 3.7）。最深積雪深 2.0 ～ 2.5m と 2.5 ～ 3.0m では、成林度 90 ～ 100 の出現頻度が最も高かった。しかし、成林度が 40 以下で、高木林が成林する可能性の低い林分も出現した。

このように最深積雪深が大きいほど成林度が低くなることは、従来の報告（野表，1987；佐藤，1990；前田，1999）と一致する。これは、雪圧の大きさが積雪深の 2 乗に比例する（高橋ら，1968）ため、積雪深が雪害に及ぼす影響力が大きい（表－ 3.3）ことによる。自然林においても、雪圧による根上がりや幹折れにより、スギ個体の分布が制限されている（Hirayama and Sakimoto, 2003a, 2003b）。

スギ人工林の成林度には、最深積雪深が大きく影響していた。しかし、同じ積雪深階でも林分による成林度のばらつきがみられた。とくに、最深積雪深 1.5 ～ 2.0m と 2.0 ～ 2.5m の成林度 A の頻度分布で、ばらつきが大きかった。最深積雪深 1.5 ～ 2.5m のデータに対して、成林度 A を外的基準とする数量化 I 類分析を再度試みた（表－ 3.5）。偏相関係数が有意であったのは最深積雪深 ($p < 0.01$) と斜面傾斜角 ($p < 0.05$) で、レンジは斜面傾斜角と縦断面が最深積雪深より大きかった。し

たがって、最深積雪深 1.5 ～ 2.5m の地域では、最深積雪深とともに斜面傾斜角と縦断面が成林度 A に強く影響しており、これらが林分による成林度のばらつきを大きくしていることが考えられる。

積雪の葡行圧に関係する斜面傾斜角のスコアは、9 度以下でやや低く、22 度以上で低かった。これは、斜面傾斜角が 15

表－3.5 最深積雪深1.5～2.5mにおけるスギ人工林の成林度 A に対する立地要因の影響（数量化 I 類分析）

要因	カテゴリー	度数	スコア	レンジ	偏相関係数
最深積雪深	1.5～2.0m	35	12.3	34.9	0.454**
	2.0～2.5m	19	-22.6		
斜面傾斜角	0～9度	9	17.2	45.5	0.459*
	10～21度	7	34.8		
	22～33度	22	-10.7		
	34～44度	16	-10.2		
斜面の縦断面	凸	12	26.1	39.0	0.395
	平衡	35	-6.4		
	凹	7	-12.9		
斜面方位	北	17	-11.9	26.8	0.307
	東	14	14.9		
	南	12	-5.0		
	西	11	4.9		
土壌型	乾燥系 ¹	20	-12.8	20.3	0.293
	適潤・湿潤系 ²	34	7.5		
定数			61.9		
重相関係数（決定係数）				0.634** (0.402)	

1：BB型、BC型、B1C型、BD(d)型。

2：BD型、BE型、B1D型、B1E型。

*： $p < 0.05$ で有意。

**： $p < 0.01$ で有意。

～20度でスギの成立本数が多く、平坦地や急斜面では消失したスギが多いとする報告（小谷，1990a）と一致する。ごく緩い傾斜地や平坦地では、積雪の沈降圧のみが作用するため林木の倒伏方向が一定せず、幹折れの被害が多くなる（石川，1969；大谷ら，1980）。このことが、斜面傾斜角9度以下のスコアが低い原因であると推察できる。さらに、多雪地帯の平坦地では土壌の理学性が悪いことが多く（松井，1970），そのためにスギ造林木の成長が悪くなり、雪害の被害期間が長くなる可能性がある。一方、斜面傾斜角22度以上のスコアが低かったのは、積雪の移動圧が斜面傾斜角に比例する（四手井，1954）ためであると考えられる。これは、同じ積雪深階の中では、斜面傾斜角が大きくなるほど根元曲がりが大きくなり、その影響力は最深積雪深が大きいほど強いこと（前節 3.1）と関係する。また、斜面傾斜角が大きくなると積雪が不安定な状態になり（高橋，1966），不安定になった積雪の移動による移動害（佐藤，1980a）が発生することも、成林度を低下させる一因であると考えられる。

縦断面の形状のスコアは、凸地形で高く、凹地形で低かった。この原因は、凹地形では凸地形に比較して積雪量が多くなり、スギの雪害が多くなる（山谷・塚原，1993，1996）ことによると考えられる。

第4章 スギ不成績造林地の林分構造

4.1. スギ不成績造林地の実態と問題

4.1.1. 目的

前章では、雪圧害を受けやすい立地では、スギ人工林の中に木材生産林として成立しない林分や、高木林としての成林が不可能な林分が存在することを示した。

本章では、スギ不成績造林地の実態を調査し、雪圧害と造林地の不成績化との関係や不成績造林地の問題点を明確にし、林分の状況に対応した改良方法を検討する。また、改良に天然更新を利用するために、スギ造林木と混交する広葉樹の生育実態を把握する。まず、スギ造林木の雪圧害と造林地の不成績化との関係を明らかにした上で、不成績造林地の問題点を整理し、その改良にあたっての目標の定め方について考察する。

4.1.2. 調査地と方法

調査地は、研究対象地域のスギ人工林のうち、スギ造林木の本数密度が低い、あるいはスギ造林木が損傷を受け、その原因が雪圧害であると考えられた33林分（林齢15～31年）である。これらの成林度A（第3章3.2）は、0～31.3であった。調査地の標高は430～1,420mで、最深積雪深は1.0～3.5m、斜面傾斜角は3～43度であった。調査地の多くは、スギが2,500～3,000本/haの密度で植栽され、植栽後に数年間の下刈りが行われている。さらに除伐が行われている林分もある。

1992年5～6月と1993年6月に、それぞれの調査地に113～400m²の方形区を設定し、方形区内に生育する林木の毎木調査を行った。スギ造林木は、胸高直径と樹高（地際から梢端までの直線距離）、根元曲がり水平長（図-3.2）を測定し、階層（上層と下層に区分）、樹幹の曲がりの程度と被害形態を記録した（第3章3.1.2.2および3.2.2.1を参照）。スギ造林木以外の林木は、胸高直径5cm以上のものを対象に、胸高直径と樹高を測定した。また、方形区内に方形区面積の1/10～1/5の帯状区（幅2m）を傾斜方向と平行に設定し、帯状区内の胸高直径2cm以上5cm未満の林木について、胸高直径と樹高を測定した。

これらの調査を行った後、数本の広葉樹上層木を伐倒し、根元の年輪数を数えて、幹の年齢を推定した。その年齢を、最後の下刈りあるいは除伐が行われてからの経過年数とした。

スギ造林木については、上層木を対象に根元曲がり水平長と幹曲がり、被害形態を基準にした健全度区分（第3章 3.2.2.2）を行った。なお、すべての調査地で天然生のスギ個体はみられなかった。

4.1.3. 結果と考察

4.1.3.1. スギ造林木の生育実態と雪圧害による損傷

図-4.1は、林齢とスギ全林木の平均胸高直径の関係である。図中の曲線（実線）は、岐阜県の多雪地帯におけるスギ林分材積表（岐阜県林政部、1983）における、地位級5の林齢と平均胸高直径の関係である。なお、岐阜県のスギ人工林の地位級は、林齢と上層木の平均樹高の関係をもとに5つに区分されており、地位級1は最も成長が良い人工林を、地位級5は最も成長が悪い人工林を示す。全33調査地中の20調査地は、平均胸高直径が地位級5の平均胸高直径±20%の範囲にあり、それより平均胸高直径が大きいのは5調査地、小さいのは8調査地であった。この図から、調査地のスギ造林木は、おおむね地位級5に相当する直径成長を示すと判断することができる。

スギ上層木の平均樹高は、ほとんどの調

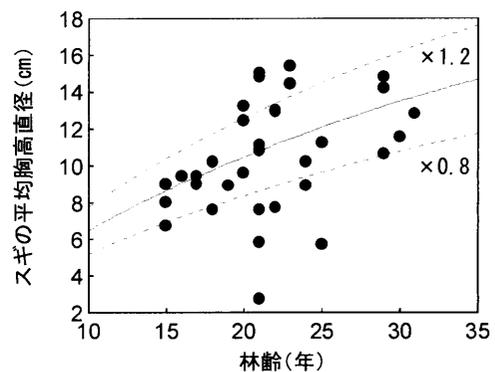


図-4.1 スギ林の林齢とスギの平均胸高直径の関係

実線は、岐阜県多雪地帯における地位級5のスギ人工林の林齢と平均胸高直径の関係（岐阜県林政部、1983）を示す。破線は実線の直径を1.2倍、0.8倍にしたときの曲線を示す。

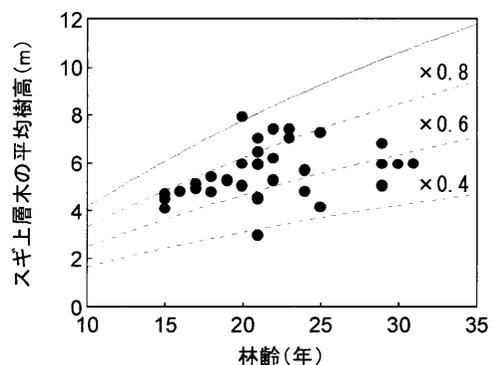


図-4.2 スギ林の林齢とスギ上層木の平均樹高の関係

実線は、岐阜県多雪地帯における地位級5のスギ人工林の林齢と平均樹高(上層木)の関係（岐阜県林政部、1983）を示す。破線は実線の樹高を0.8倍、0.6倍、0.4倍にしたときの曲線を示す。

調査地で地位級 5 の平均樹高よりも低く、19 調査地が地位級 5 の樹高の 60 ~ 80 %、9 調査地が地位級 5 の樹高の 60 %未満であった (図- 4.2)。このことは、これらの調査地におけるスギ造林木の樹高成長が、きわめて不良であることを示している。スギ造林木の樹高成長は、雪圧害によって抑制される (石川ら, 1980 ; 平, 1987)。調査地のスギ造林木は雪圧害を受けている (後述) ことから、樹高成長の不良は雪圧害が原因である可能性が高い。

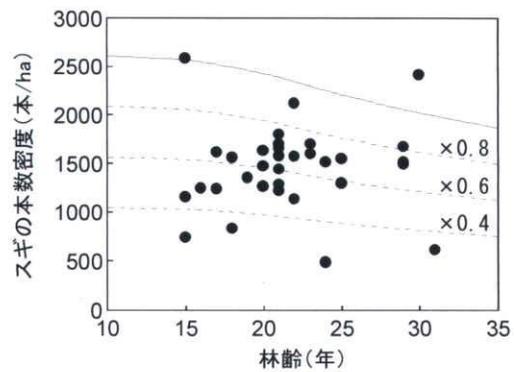


図-4.3 スギ林の林齢とスギの本数密度の関係
 実線は、岐阜県多雪地帯における地位級5のスギ人工林の林齢と本数密度の関係 (岐阜県林政部, 1983) を示す。破線は実線の密度を0.8倍, 0.6倍, 0.4倍したときの曲線を示す。

図- 4.3 は、林齢とスギ造林木の本数密度の関係である。なお、いずれの調査地も間伐は行われておらず、除伐時にスギが伐採された形跡もみられなかった。ほとんどの調査地の本数密度は 2,000 本/ha 以下で、地位級 5 の林齢-密度関係による本数密度の 60 ~ 80 %の本数密度であったのが 16 調査地、40 ~ 60 %が 9 調査地、40 %未満が 4 調査地と、ほとんどの調査地で林齢に対する本数密度が低かった。

図- 4.4 には、スギ造林木の健全度別の本数密度を、最深積雪深階ごとに分けて示した。木材としての利用が期待できる健全度 a のスギ造林木がまったく出現しなかった調査地が、19 調査地みられた。健全度 a の本数密度は、それが最も高い調査地でも 438 本/ha であった。高木への成長が

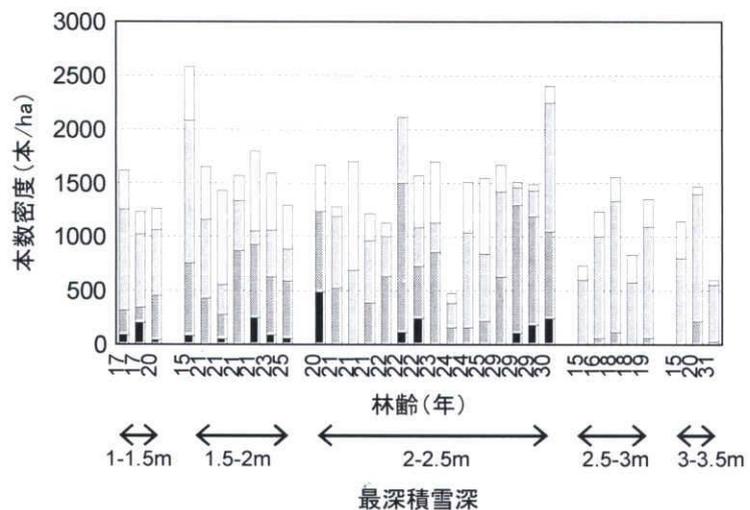


図-4.4 各調査地におけるスギの健全度別の本数密度

黒塗りは健全度 a (根元曲がり水平長 \leq 1mかつ、「幹曲がり小」かつ、いずれの被害形態もみられない上層木)、格子は健全度 b (健全度 a・c 以外の上層木)、斜線は健全度 c (根元曲がり水平長 $>$ 2mまたは、致命的な被害形態 (根元折れ, 根元割れ, 幹折れ) がみられた上層木)、白抜きは下層木を示す。

期待できる健全度 a + 健全度 b の本数密度は 0 ~ 1,502 本/ha で、調査地によるばらつきが大きかった。健全度 a, b とも出現しない調査地が、4 調査地あった。最深積雪深が 2.0m 未満では健全度 a の出現する調査地が多く、健全度 b はすべての調査地に出現した。最深積雪深 2.0 ~ 2.5m では、健全度 a の個体が出現しない調査地が多くなり、最深積雪深 2.5m 以上の調査地では、健全度 a はまったく出現せず、健全度 b の本数密度が低かった。以上から、最深積雪深が大きい調査地ほど、健全度の高いスギ造林木の本数密度が低くなる傾向が明らかになった。

調査地は、スギ造林木の樹高成長が不良であるうえに、本数密度が低かった。このことは、スギ造林木の本数減少の原因が造林木間の競争にあるのではないことを示唆している。すべての調査地で、スギ造林木に混じって広葉樹が生育していた。ほとんどの調査地では下刈りが、一部の調査地では除伐も実施されていることから、広葉樹による被圧はスギの本数減少の主因とは考えられない。生存するスギ造林木は、様々な形態の被害を受けていた（表-4.1）。観察された被害形態は、つる類の巻き付きを除き、いずれも雪圧害に特有な被害形態（四手井，1954；平，1984；小野寺，1990）であった。そのうち、根元折れと根元割れは、林木にとって致命的な被害であり、幹折れも被害部位によっては致命的になる被害である。生存木にこれらの被害がみられることから、過去に同様の被害によってスギ造林木が枯損したことが推察できる。したがって、調査地のスギ造林木の本数密度が低いのは、雪圧害が原因でスギ造林木が損傷を受け、その中で致命的な被害を受けたものが消失したためであると考えられる。

つるの巻き付きは、39.4 %の調査地でみられた（表-4.1）。つるの巻き付きは、スギ造林木の成長や樹幹の形状を悪くする原因である。フジやサルナシのように樹幹に巻き付くタイプのつるは、スギ造林木の肥大成長に伴って樹幹にくい込み、その部分で樹幹が折損しやすくなる。クズのように樹冠部を覆うタイプでは、つるが雪を捕捉するため冠雪量が多くなり、スギ造林木が倒伏しやすくなると考えられる。つるの巻き付きは、複合的に雪圧害を助長する要因であ

表-4.1 スギにみられた被害形態

	倒伏	斜立	根元折れ	根元割れ	幹折れ	梢端折れ	つる類 ³
被害林分出現率(%) ^{1,2}	42.4	15.2	9.1	30.3	39.4	42.4	39.4

1：被害形態ごとの被害発生調査地数の全調査地に対する割合。

2：根元曲がりと幹曲がりを除く。

3：サルナシ，マタタビ，クズ，ヤマブドウ，アケビの巻き付き。

ると考えられる。

図-4.5 に、斜面傾斜角に対する健全度 a のスギと健全度 b のスギを合わせた本数密度の関係を示した。最深積雪深 2.5m 未満の調査地は、斜面傾斜角が大きくなるほど、健全度 a + 健全度 b の本数密度が低くなる傾向がみられた ($r = -0.449$, $p < 0.05$)。

斜面傾斜角が大きくなるほど、積雪の移動圧が大きくなり (塚原ら, 1981), 雪圧害のために健全度が低下したものと考えられる。

一方、最深積雪深 2.5m 以上の調査地は、斜面傾斜角に関係なく、健全度 a + 健全度 b の本数密度が低かった ($r = -0.239$, $p > 0.05$)。雪圧の大きさが積雪水量の 2 乗に比例する (高橋ら, 1968) ため、最深積雪深 2.5m 以上の林地では傾斜角が小さくても激しい雪圧害を受け、致命的な被害が大きくなると考えられる。

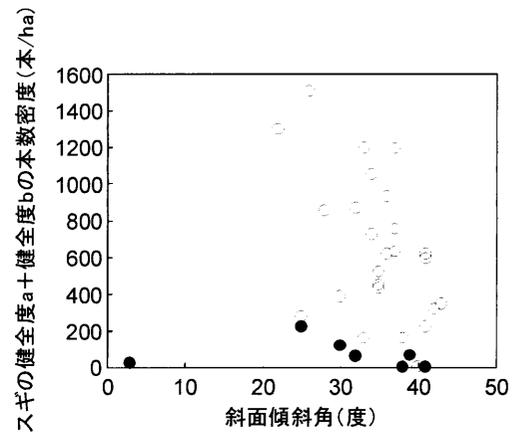


図-4.5 調査地の斜面傾斜角とスギ(健全度 a + 健全度 b)の本数密度の関係

○は最深積雪深1.0~2.5mの調査地, ●は最深積雪深2.5~3.5mの調査地を示す。スギの健全度は、図-4.4を参照。

4.1.3.2. スギ不成績造林地の問題

前述のように、調査地のスギ造林木の本数密度は低く、残存するスギ造林木の樹幹の形状は通直ではない。このことにより、次の問題が生じる。第1の問題は、本来の造林目的が達成できないことである。スギ造林木の本数が減少し、生存するスギに木材生産が期待できるものが著しく少ないことから、調査林分がスギ木材生産林として成林することは望めない。第2の問題は、林地保全上の問題である。多雪山地では、スギ拡大造林地で表土層の崩壊が発生し、スギ造林木の成長不良がその要因の1つである (相浦ら, 1996)。調査地のスギ造林木の樹高成長が不良であったことから、不成績造林地では表土層の崩壊が発生する危険性がある。

4.1.3.3. 広葉樹の混交と不成績造林地の目標林型

つぎに、スギ不成績造林地の林分構造をスギ以外の樹種を含めて検討する。

調査地のすべてに広葉樹が混交していた。胸高直径 2cm 以上の広葉樹の本数密度は、調査地によるばらつきが大きく、スギ上層木の本数密度との間に線形関係はみられなかった（図-4.6）。スギ上層木が 1,500 本/ha 以下の調査地では、広葉樹の本数密度は 45 ~ 21,800 本/ha の範囲で変動していた。これに対して、スギ上層木が 2,000 本/ha 以上ある調査地では、広葉樹の本数密度は 6,200 本/ha 以下であった。スギ上層木の本数密度が高く、なおかつ広葉樹の本数密度も高い調査地は存在しない。

図-4.7 に、下刈りあるいは除伐が終了してからの経過年数が推定できた 27 調査地について、その経過年数と広葉樹の本数密度との関係を示した。胸高直径 2cm 以上 5cm 未満の広葉樹は、下刈りや除伐が終了してからの経過年数が 7 年までは、経過年数が長いほど本数密度が高く、経過年数が 7 年以上では経過年数による本数密度の変化はみられなかった。胸高直径 5cm 以上の広葉樹は、下刈りや除伐が終了してからの経過年数が長いほど、本数密度が高かった。

出現した広葉樹は全部で 43 種、そのうち高木性樹種は 25 種であった（表-4.2）。出現率が高かったのはミズキとミズナラで、この 2 種は平均出現本数と最大出現本数が多かった。出現率 30 % 以上の樹種は 10 種で、そのうち 8 種が高木性であった。平均出現本数、最大出現本数とも、最も多かったのはヨウブであった。また、高木性広葉樹が出現した調査地は、31 調査地（全調査地の 94 %）であった。

広葉樹の混交は、多くの不成績造林地（大原・小野寺，1988；矢野ら，1988；矢野・

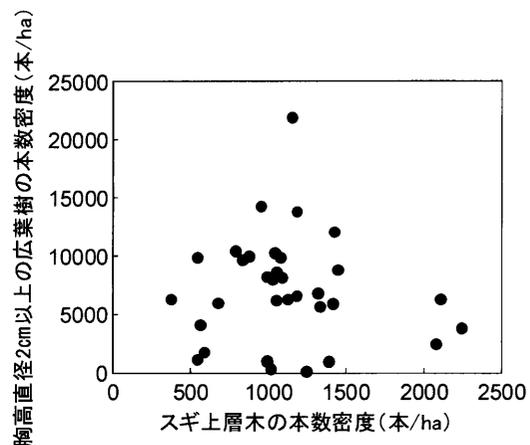


図-4.6 スギ上層木の本数密度と胸高直径2cm以上の広葉樹の本数密度の関係

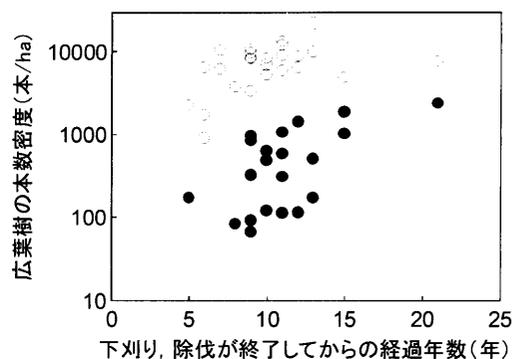


図-4.7 下刈り、除伐が終了してからの経過年数と広葉樹の本数密度の関係

●は胸高直径5cm以上の広葉樹，○は胸高直径2～5cmの広葉樹を示す。

榎谷, 1989; 赤井ら, 1989a;

小谷, 1990a; 大原・栗田, 1993

; 鈴木・富樫, 1993; 石塚・

宇都木, 1995) で報告されて

おり, 針広混交林は不成績造

林地を代表する森林のタイプ

である(小野寺, 1988; 横井,

2000)。

スギ不成績造林地に広葉樹

が混交する理由は, 以下のよ

うに考えることができる。前

植生や周辺植生が広葉樹林で

あるスギ造林地では, 伐根か

らの萌芽や伐採前後の種子の

供給に恵まれるため, 広葉樹

が再生しやすい(國崎・川村,

2000)。調査地はすべて拡大造

林地であり, その前植生が広

葉樹林であり, まず, このこ

とが調査地における広葉樹の

混交に影響していると考えら

れる。スギの植栽に伴う地表

面の攪乱は, カンバ類などの

微小種子に対する発芽床を形

成し, 埋土種子を地中から掘り出す効果がある(長谷川, 1997)。このことも, 広葉樹の更新

を促進するのであろう。スギ造林木の消失や成長不良が原因で, スギ造林木による林冠の閉鎖

表-4.2 広葉樹の出現率と本数密度

樹種	生活形	出現率 ¹ (%)	平均本数密度 ² (/ha)	最大本数密度 (/ha)
ミズキ	高木	57.6	1,815	5,896
ミズナラ	高木	51.5	2,061	11,044
ウワミズザクラ	高木	36.4	2,042	5,898
バッコヤナギ	高木	36.4	372	1,235
タニウツギ	低木	33.3	966	2,540
ホオノキ	高木	33.3	550	1,524
コハウチワカエデ	高木	33.3	371	635
ウリハダカエデ	高木	30.3	975	2,439
ツノハシバミ	低木	30.3	716	1,829
キハダ	高木	30.3	459	1,220
リョウブ	小高木	27.3	2,956	15,244
ブナ	高木	27.3	799	3,268
オオバクロモジ	低木	24.2	605	1,325
ヤマウルシ	小高木	24.2	517	1,102
コシアブラ	高木	21.2	435	826
タムシバ	小高木	18.2	1,188	2,156
イタヤカエデ	高木	18.2	790	1,700
マルバマンサク	低木	18.2	623	1,829
シラカンバ	高木	18.2	523	1,853
シナノキ	高木	15.2	729	1,987
アズキナシ	高木	15.2	401	1,003
タラノキ	低木	12.1	339	662
ミズメ	高木	12.1	264	362
キブシ	低木	9.1	949	1,881
ナナカマド	小高木	9.1	914	1,307
ケヤキ	高木	9.1	678	1,327
トチノキ	高木	9.1	308	571
ヌルデ	小高木	9.1	185	305
ウダイカンバ	高木	9.1	195	317
ヤマモミジ	高木	6.1	774	885
サワグルミ	高木	6.1	413	762
ヤブデマリ	低木	3.0		1,929
コミネカエデ	小高木	3.0		1,379
ヤマグワ	小高木	3.0		933
オヒョウ	高木	3.0		627
ハウチワカエデ	高木	3.0		602
ハクウンボク	小高木	3.0		442
ヤマボウシ	小高木	3.0		309
アカミノイヌツゲ	低木	3.0		275
ヤマナラシ	高木	3.0		79
エゾエノキ	高木	3.0		79
ナツツバキ	高木	3.0		63
ウリカエデ	低木	3.0		57

1: その種が出現した調査地数の全調査地数に対する割合。

2: 出現調査地のみの平均。

が進まず、そのために広葉樹の生育できる空間が長期間存在することも、広葉樹の混交を促進する原因になると考えられる。スギ不成績造林地では、広葉樹がスギ造林木の空隙を埋め尽くすように侵入し、その後、スギとの共存に適した位置を獲得しながら競争する（小谷・矢田，1989）。また、スギ造林木の樹冠占有率の高い場所には広葉樹が少ない（小谷，1990b）こと、スギ造林木と萌芽更新したブナが排他的に分布する（箕口，1994）ことが報告されている。スギ上層木の本数密度が高い調査地で広葉樹の本数密度が低かったのは、スギの本数が多いと広葉樹の生育できる空間が少なくなるためであると考えられる。そして、下刈りや除伐が終了してからの経過年数が長くなるにしたがい、広葉樹の本数密度、とくに胸高直径 5cm 以上の本数密度が多くなったのは、不成績造林地ではスギ造林木の消失による広い空間が存在するため、いったん除去された広葉樹が再び侵入もしくは成長したことを示すものと考えられる。

スギ不成績造林地の施業方法を検討するさい、スギ木材生産林に代わる新たな目標の設定が必要である。多くのスギ不成績造林地に高木性の広葉樹が混交することは、スギ・広葉樹混交林、あるいは広葉樹林に誘導可能な不成績造林地が多いことを示唆している。現状から判断して、スギ不成績造林地の新たな目標林型は、スギ・広葉樹混交林あるいは広葉樹林とするのが適当である。用材として利用できる広葉樹種の本数密度が高い林分であれば、引き続き木材生産を目的とすることが可能である。このときは、健全度 a のスギ造林木が存在すればスギ・広葉樹混交の木材生産林が、それが存在しなければ広葉樹木材生産林が新たな目標として考えられる。これに対して、用材として利用できる広葉樹が十分でない林分では、木材生産を目的とすることが不可能であるため、目的を環境保全のための森林造成に変更せざるを得ない。この場合には、スギ、広葉樹を問わず、最も成林が確実な樹種による高木林を目標とするのが妥当である。

これらのことから、不成績造林地を木材生産林として考えることができるかどうかを決定づける最も重要な因子は、そこに生育する広葉樹の樹種構成であるといえる。また、木材生産機能が期待できないとしても、高木林を成立させるためには、高木性広葉樹の存在は重要である。

4.2. スギ不成績造林地の林分構造

4.2.2. 目的

前節(4.1)では、スギ不成績造林地の多くに広葉樹が混交し、高木性樹種、さらには用材として利用できる樹種が含まれる場合が多いことを示した。このことから、スギ・広葉樹混交林や広葉樹林は、スギ不成績造林地の目標林型になると考えられる。

スギ不成績造林地をこれらの林型に積極的に誘導できる可能性を検討するためには、個々の林分構造を解析し、スギと広葉樹の関係や高木性広葉樹の生育特性を明らかにすることが必要となる。本節では、広葉樹が混交する不成績造林地の典型例を調査し、林分の階層構造に注目して、スギ造林木と広葉樹の生育特性を解析する。

4.2.2. 調査地と方法

調査は、1990年5月に、岐阜県飛騨市宮川町(旧吉城郡宮川村)洞のスギ不成績造林地で行った。調査地の海拔は980～1,000m、斜面方位は西北西、傾斜は20～25度、土壌型はBD型、最深積雪深は2.5mである。この造林地は、薪炭林として利用されてきた落葉広葉樹二次林を1969年に皆伐し、1970年春にスギを2,500本/haの密度で植栽した林分である。植栽後の保育は、下刈りが1970年から1975年までの6年間、除伐が1980年に行われている。調査時の林齢は20年であり、広葉樹の地上部の齢は9年以下である。

この造林地に3つの調査区(プロットⅠ:544m²、プロットⅡ:644m²、プロットⅢ:356m²)を設置し、調査区内の胸高直径2cm以上の林木について、毎木調査(樹種、胸高直径、樹高)を行った。さらに、それぞれの調査区内に幅4mの帯状区を設け、樹高2m以上かつ胸高直径2cm未満の林木の毎木調査(樹種、胸高直径)を行った。解析は、3つの調査区を合わせて行った。なお、樹高6m以上の林木を上層木、4～6mの林木を中層木、4m未満の林木を下層木とした。

4.2.3. 結果

4.2.3.1 出現樹種

表-4.3に出現樹種を示す。調査地全体(1,544m²)で、樹高2m以上の本数密度は、スギ造

林木が 1,263 本/ha, 広葉樹が 36 種 25,509 本/ha であり, 広葉樹の本数密度はスギ造林木のその
 20.2 倍であった。スギの植栽本数に対する現存本数の割合は, 50.5 %であった。樹高 2m
 以上の樹種ごとの本数密度は, コハウチワカエデがとくに高く, 次いでイタヤカエデが高かっ
 た。

表-4.3 宮川調査地における出現樹種

樹種	胸高直径 ≥ 2 cm			樹高 ≥ 2 m
	本数密度(本/ha)	平均樹高(m)	平均胸高直径(cm)	本数密度(本/ha)
スギ(造林木)	1,225	4.8	7.6	1,263
ウリハダカエデ	1,159	4.3	3.0	1,392
ミズキ	1,108	4.5	4.0	1,457
ホオノキ	972	4.8	3.9	1,282
イタヤカエデ	874	4.0	2.7	2,893
ウワミズザクラ	712	4.6	3.6	1,411
キハダ	661	3.9	3.1	1,036
ツノハシバミ	602	3.5	2.6	1,961
リョウブ	363	3.2	2.4	1,760
クリ	317	5.2	5.4	317
マルバマンサク	279	3.3	2.3	1,094
トチノキ	246	4.2	3.5	363
コハウチワカエデ	220	3.3	2.4	3,714
タラノキ	214	3.5	3.4	213
バッコヤナギ	201	5.4	5.6	201
ミズナラ	143	4.1	3.3	143
オオヤマザクラ	130	4.8	3.8	207
ミズメ	123	4.9	4.1	123
ヌルデ	78	4.3	4.0	117
キブシ	78	3.4	2.3	932
ヤチダモ	71	4.8	3.5	71
ブナ	65	3.8	2.7	104
オオバクロモジ	58	3.4	2.3	997
ナツツバキ	52	4.1	2.9	168
タニウツギ	52	2.8	2.2	1,876
シラカンバ	45	5.4	5.4	84
ケヤマハンノキ	39	7.8	10.5	39
ナナカマド	26	3.2	2.6	26
ハリギリ	19	4.6	3.5	19
ヤマグワ	19	4.3	3.9	58
サワグルミ	13	5.0	6.3	13
サワフタギ	13	2.4	2.1	317
コマユミ	13	2.3	2.1	129
アズキナシ	7	4.6	3.5	84
ツリバナ	7	3.0	2.2	434
ミヤマガマズミ	7	3.0	2.1	201
ヤマボウシ	—	—	—	117
オオカメノキ	—	—	—	78
ハウチワカエデ	—	—	—	39
マユミ	—	—	—	39
合計	10,211			26,772

胸高直径 2cm 以上の本数密度は、スギ造林木が 1,225 本/ha、広葉樹が 8,986 本/ha であり、広葉樹がスギの約 7.3 倍であった。このサイズで、樹種別の本数密度は、スギが最も高く、ウリハダカエデやミズキがそれとほぼ同数、次いでホオノキ、イタヤカエデ、ウワミズザクラが高かった。これらの広葉樹は、いずれも高木性の樹種である。小高木性～低木性の樹種では、ツノハシバミやリョウブ、マルバマンサクの本数密度が高かった。

胸高直径 2cm 以上の林木の平均樹高は、クリ、バッコヤナギ、ミズメ、シラカンバ、ケヤマハンノキ、サワグルミがスギより大きかった。平均胸高直径がスギより大きかったのは、ケヤマハンノキだけであった。

4.2.3.2 樹高階分布

図-4.8 に、樹高階分布を示す。胸高直径 2cm 未満の林木は樹高を測定していないが、これらは樹高 2～3m の樹高階に含めた。スギの樹高は、最大が 8.5m で、樹高階分布は 4～5m にピークがある緩やかな 1 山型分布を示した。広葉樹の樹高階分布は、L 字型分布を示した。各樹高階の本数は、樹高 7m 以上ではスギと広葉樹とが同数、樹高 7m 未満ではスギよりも広葉樹が多かった。

主な広葉樹種について、樹高階分布を樹種ごとに示す(図-4.9)。ケヤマハンノキとバッコヤナギは、樹高の高い林木の本数が多かった。ウリハダカエデとクリ、ミズメは 1 山型の分布を示した。ホオノキとミズキは、明瞭なピークがなく、樹高 6m 未満ではどの樹高階の本数も大きな差がなかった。ウワミズザクラ、イタヤカエデ、オオヤマザクラは、L 字型と 1 山型の分布を合わせた分布を示した。キハダ、ツノハシバミ、マルバマンサク、リョウブ、コハウ

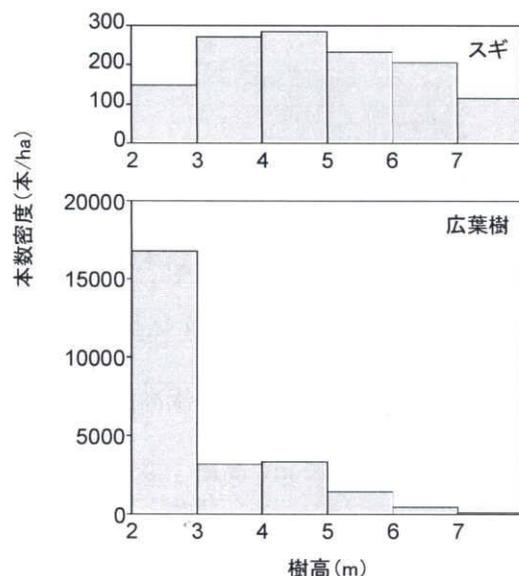


図-4.8 宮川村洞のスギ不成績造林地におけるスギと広葉樹の樹高階分布

スギと広葉樹で、縦軸のスケールが異なる。

チワカエデ，オオバクロモジ，キブシ，タニウツギは，低い樹高階に片寄った分布を示した。とくに，コハウチワカエデ，オオバクロモジ，キブシ，タニウツギは，ほとんどが樹高 3m 未満であった。

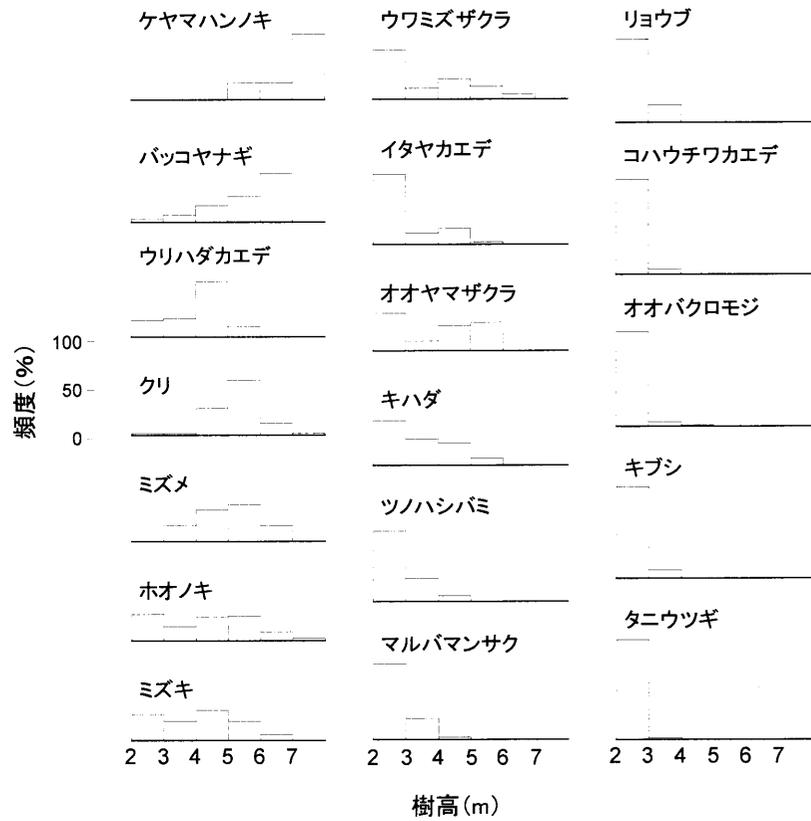


図-4.9 主な広葉樹の樹高階分布

4.2.3.3 階層構造

図-4.10 は，階層別に示した主な樹種の相対密度である。上層（樹高 $\geq 6m$ ）では，

スギの相対密度が最も高く，次いでホオノキ > バッコヤナギ > ミズキ > ウワミズザクラ > クリの順で相対密度が高かった。上層では，これら 6 種で全本数の 88.5 % を占めた。中層

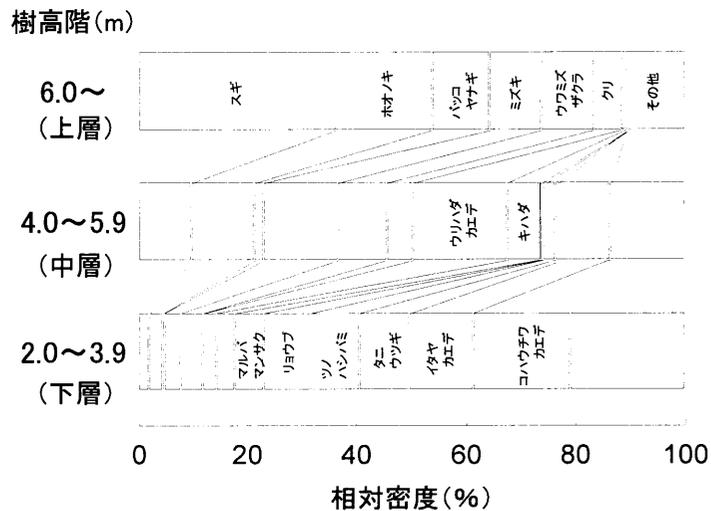


図-4.10 樹高階(階層)ごとの主な樹種の相対密度

($4m \leq$ 樹高 $< 6m$) では，前述の 6 樹種のうちバッコヤナギ以外，ウリハダカエデ，キハダ，イタヤカエデの相対密度が高かった。下層（樹高 $< 4m$ ）では，コハウチワカエデ > イタヤカエデ > タニウツギ > ツノハシバミ > リョウブ > マルバマンサクの順に相対密度が高かった。上

層で相対密度が高かった種は、どれも下層での相対密度が低かった。

4.2.4. 考察

本調査地のスギ造林木は、本数が植栽時の約 50 %に減少しており（表－ 4.3）、樹高の最大値は 8.5m、樹高のモードは 4 ～ 5m であった（図－ 4.8）。岐阜県多雪地帯の 20 年生スギ人工林において、上層木の平均樹高は、地位が中庸である地位級 3 で 11.4m、地位が最も低い地位級 5 で 7.8m である（岐阜県林政部，1983）。これらの数値と本調査地のスギ造林木の樹高モードを比較すると、本調査地におけるスギの生育が不良であることがわかる。

一方、広葉樹は、スギの樹齢の半分以下の 9 年で、スギ造林木とほぼ同じ樹高に成長した林木が存在した（図－ 4.9, 4.10）。また、広葉樹は種数が多く、本数密度が高かった。これには、本調査地が広葉樹林を伐採してスギを造林した拡大造林地であること、すなわち種子や株といった広葉樹の更新材料が多かったことが強く影響していると考えられる。

広葉樹の樹高階分布を樹種間で比較すると、高木性広葉樹の樹高が、小高木性広葉樹や低木性広葉樹に比較して高かった（図－ 4.9）。とくに、初期成長の速いケヤマハンノキやバッコヤナギなど、先駆種の樹高が高かった。階層構造で上層に高木性広葉樹が多く、下層に低木性広葉樹が多かった（図－ 4.10）のは、初期成長の違いを反映していると考えられる。不成績造林地に生育する広葉樹で、サイズの大きいクラスほど高木性樹種が優占することは、他の地域のスギ不成績造林地（小谷，1990a）や、本地域のカラマツ不成績造林地（横井・谷口，1989；横井ら，1990）でも報告されている。また、カラマツ不成績造林地において、広葉樹が侵入してから経過年数が長いほど、生活形の違いによる階層の分化が進む（横井・谷口，1989）とされている。本調査地では、生活形の違いによる階層の分化は始まっているが、明確に離散した階層構造が発達するまでには至っていない。

林分高が 8m に満たない本調査地は、現在、すでにスギ造林木と高木性広葉樹が混交林を形成している。本調査地は、今後も、スギ・広葉樹混交林として発達していく可能性が高い。また、高木性広葉樹の中には、クリやホオノキなど経済価値の高い樹種が含まれており、木材生産林として期待も持てる。

4.3. スギ不成績造林地におけるスギと広葉樹の成長過程

4.3.1. 目的

下刈りや除伐など初期に行われる保育作業は、スギ不成績造林地の現在の林型や将来の林型の形成に、大きな影響を与えていると考えられる。ただし、造林地の初期保育とスギ不成績造林地の林分構造の関係を調査した事例（高橋・野呂，1990；長谷川，1991，1998）は少ない。本節では、広葉樹が混交するスギ不成績造林地の林分構造に対する、造林地の初期保育（下刈りと除伐）の影響を検討する。

4.3.2. 調査地と方法

本章 4.1 の調査地のうち広葉樹が混交し、かつ、下刈りあるいは除伐が終了してからの期間が年輪解析から推定できた 27 ヶ所のスギ不成績造林地（調査地 St.01 ～ 22, 調査地 St.24 ～ 28）のデータ、および別に調査した 1 林分（調査地 St.23）のデータを解析に用いた。

調査地 St.23 以外での調査方法は、本章 4.1.2 に示した。調査地 St.23 では、半径 8m の円形調査区を設定し、胸高直径 4cm 以上の林木の胸高直径と樹高を測定し、階層（上層，下層）を記録した。調査地 St.10, 13, 18, 19, 20, 23 ではスギ 2 ～ 5 本と広葉樹 9 ～ 19 本を、調査地 St.12, 25, 26 では広葉樹 4 ～ 12 本を、地際で伐倒して幹を 50cm 間隔で切断し、各断面の年輪数を調べた。伐倒調査した林木について、樹高を地際の年輪数で除したものを、樹高成長速度とした。

4.3.3. 結果と考察

4.3.3.1. スギと高木性広葉樹の本数密度と樹高階分布

調査地のスギ造林木の本数密度は 601 ～ 2,588 本/ha で、このうち上層木は 551 ～ 2,251 本/ha であった。広葉樹の本数密度は、胸高直径 2cm 以上 (St.23 のみ 4cm 以上) で 826 ～ 21,341 本/ha であった。高木性広葉樹の本数密度は、551 ～ 11,641 本/ha であった。

スギ上層木の本数密度と高木性広葉樹の本数密度の間に、相関関係は認められなかった（図 - 4.11）。しかし、スギ上層木の本数密度と高木性広葉樹の本数密度が、ともに高い調査地は

存在しなかった。これは、スギの本数密度が高い林分では、広葉樹の生育できる空間が少ないことによる（本章 4.1）。その逆に、スギ上層木と高木性広葉樹とも、本数密度が低い調査地は存在した。高木に成長する林木の本数が少ないため、これらの調査地は、高木林の成林が期待できない。

全調査地数に対して、ある樹種が出現した調査地数の割合を、その樹種の出現率と定義する。出現率が 10 %以上の樹種を、表- 4.4 に示す。最も出現率が高かった樹種はミズキで、次いでミズナラとウワミズザクラの出現率が高かった。25 種のうち 16 種が高木性樹種であり、これらの中にはミズキ、ミズナラ、ホオノキのように経済価値が高いものが含まれた。

スギ造林木は、いずれの調査地でも上層に存在し、かつ広い樹高階にわたって分布していた（図- 4.12）。小野寺（1990）は、豪雪地帯のスギ人工林は二段林型になると述べている。調査地 St.19, 22, 23, 28 など、林齢の高い調査地にその傾向が認

められる。一方、高木性広葉樹の樹高階分布は、スギの樹高階分布より低い方にかたよる場合が多かった（図- 4.12）。調査時の観察によると、スギ造林木の樹冠の下に広葉樹が生育することはまれで、広葉樹の樹冠はスギ造林木の樹冠のない場所に分布していた。

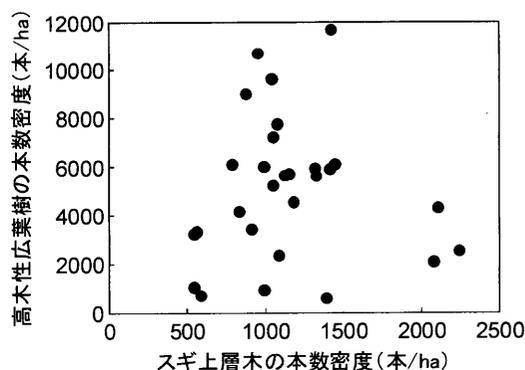


図-4.11 スギ上層木の本数密度と高木性広葉樹の本数密度の関係

表-4.4 主な広葉樹の出現率

樹種 ¹	出現率 (%)
ミズキ *	64.3
ミズナラ *	57.1
ウワミズザクラ *	46.4
ホオノキ *	39.3
バッコヤナギ *	35.7
コハウチワカエデ *	35.7
ウリハダカエデ *	32.1
タニウツギ	32.1
ツノハシバミ	32.1
キハダ *	28.6
ブナ *	28.6
コシアブラ *	28.6
イタヤカエデ *	25.0
オオバクロモジ	25.0
リョウブ	25.0
シラカンバ *	21.4
シナノキ *	17.9
ミズメ *	17.9
マルバマンサク	17.9
ヤマウルシ	17.9
アズキナシ *	14.3
タラノキ	14.3
ケヤキ *	10.7
キブシ	10.7
タムシバ	10.7

¹ : 出現率10%以上の樹種。

* : 高木性樹種。

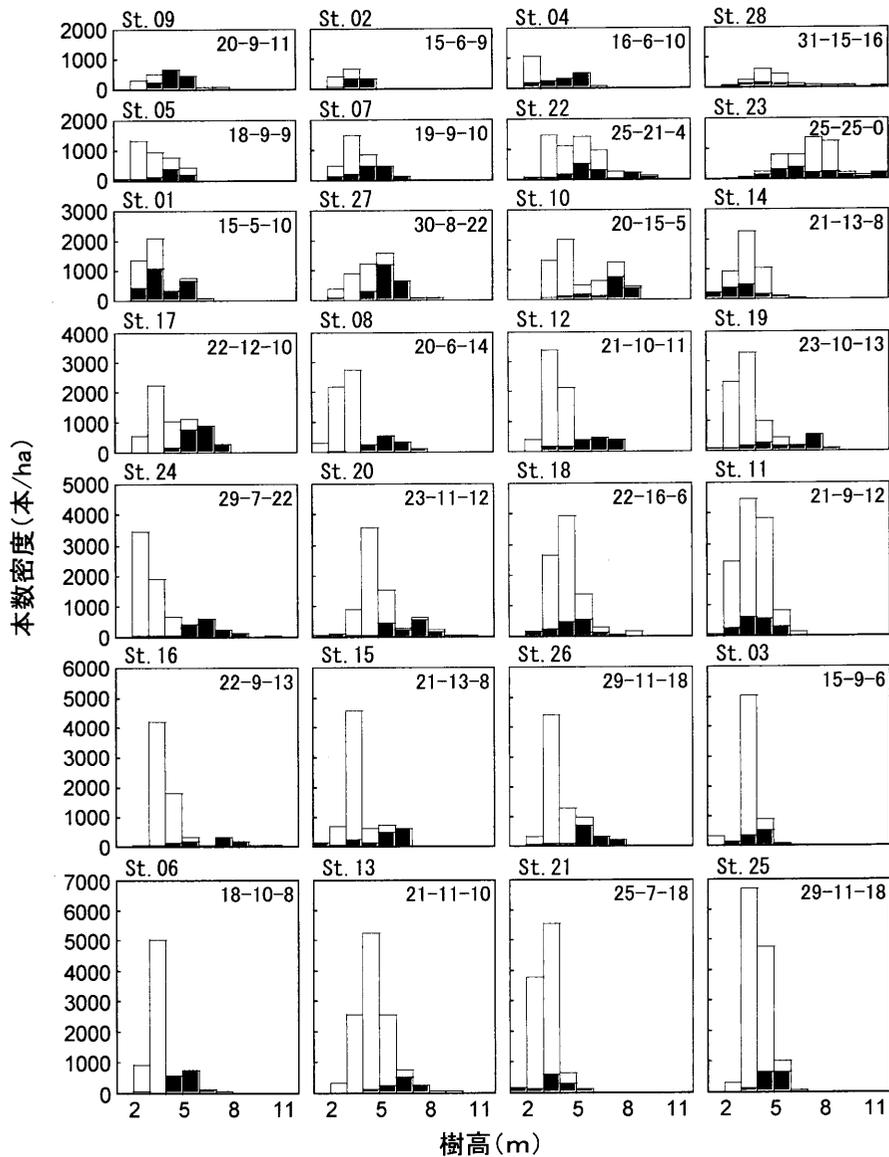


図-4.12 各調査地のスギと高木性広葉樹の樹高階分布

黒塗りはスギ，白抜きは高木性広葉樹を示す。各図の右上の数字 (①-②-③) は，
 ①スギ林の林齢，②下刈りあるいは除伐が終了してからの期間（年輪解析から推定），
 ③最後の下刈りあるいは除伐が行われたときのスギ林の林齢 (①-②) を示す。

4.3.3.2. スギと広葉樹の樹高成長過程

年齢調査を行ったうちの6林分について、スギと広葉樹の樹高成長過程を示した(図-4.13)。調査地 St.23 は、広葉樹の侵入がスギの植栽と同時に生じた。このことから、この林分はスギ植栽後の下刈りが行われなかったと考えられる。広葉樹は、ミズナラ、ホオノキ、ミズメ、ミズキで、これらはスギ上層木とよく似た樹高成長過程を示した。

調査地 St.10 では、広葉樹が林齢6年以後に多く侵入し、調査地 St.18 では、林齢7年前後

に広葉樹が侵入していた。

これらの林分は、下刈りが行われ、除伐が行われていない可能性が高い。調査地

St.10 の広葉樹は、ミズナラ、ブナ、ホオノキ、キハダ、ミズメ、コシアブラ、ウワミズザクラであった。

これら広葉樹の樹高は、年数の経過とともにスギの樹高に近づき、調査時にはスギの樹高と変わらない高さに達していた。調査地 St.18

の広葉樹は、ミズナラ、ブナ、ホオノキ、トチノキ、

ミズメ、シラカンバであり、この林分での樹高成長過程も調査地 St.10 と同様の傾向を示した。

調査地 St.13, 19, 20 では、ほとんどの広葉樹が林齢 10 年以降に侵入していた。これらの林分では、除伐が行われたと推察できる。調査地 St.13 の広葉樹は、ホオノキ、トチノキ、ミズキ、キハダ、ハリギリ、ウダイカンバ、イタヤカエデ、ウリハダカエデ、ウワミズザクラであった。この調査地では、除伐を免れたとみられるホオノキとウダイカンバが存在し、これらの樹高は、調査時にスギ上層木の樹高と同じかそれを上回っていた。しかし、除伐後に侵入した他の広葉樹の樹高は、スギ上層木よりも低かった。調査地 St.19 の広葉樹は、ミズナラ、クリ、ミズキ、キハダ、オオヤマザクラ、ウワミズザクラで、すべて除伐後に侵入したものであった。これらの樹高成長は、スギの樹高成長より良かった。しかし、調査時の樹高はスギ上層木より低かった。調査地 St.20 の広葉樹は、ブナ、ホオノキ、ミズキ、イタヤカエデ、ウダイカンバ、コシアブラ、ウワミズザクラであった。この調査地にも、除伐を免れたとみられるウ

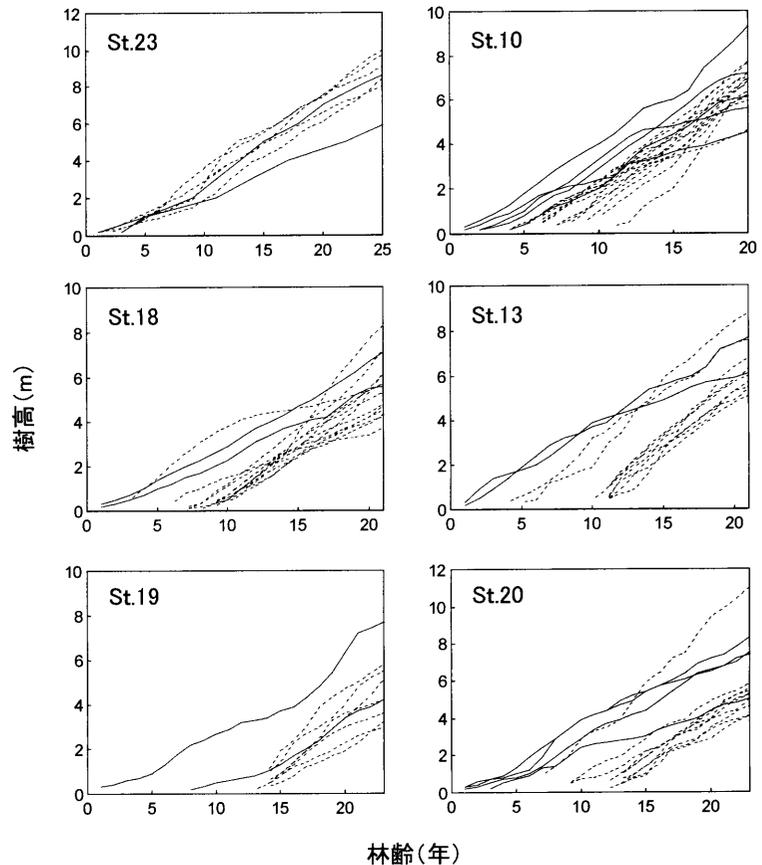


図-4.13 スギと広葉樹の樹高成長過程

実線はスギ、点線は広葉樹を示す。樹幹解析の結果を示す。

ダイカンバがあり、その樹高成長は速く、調査時の樹高はスギの樹高より高かった。

スギと広葉樹各種の樹高成長過程は、どの林分においても直線的であった。これは、毎年の成長量がほぼ一定であることを意味する。スギが植栽起源であり、広葉樹は先駆樹種や萌芽由来の林木が多く、初期から樹高成長が良かったことと、25年以下という若い時期を対象としていることによると考えられる。

表-4.5 は、各樹種の樹高成長速度の平均値である。ここで、スギ上層木の樹高成長速度は、樹

高成長速度が大きいものから5本の平均値、スギ下層木の樹高成長速度は、同じく小さいものから5本の平均値である。スギの樹高成長速度は、上層木で0.39m/年であった。高木性広葉樹の樹高成長速度には、樹種により大きな差がみられた。樹高成長速度が大きいのはシラカンバ(0.66m/年)とウダイカンバ(0.58m/年)で、小さいのはブナ(0.36m/年)とミズキ(0.37m/年)、ミズナラ(0.38m/年)であった。また、高木性広葉樹には、スギや小高木・低木性広葉樹より樹高成長速度の大きい樹種が多かった。岩手県の広葉樹が混交するスギ人工林では、ミズナラ、ホオノキ、クリ、ウダイカンバ、ミズキの各優勢木の平均樹高成長速度が0.42～0.47m/年で、スギ優勢木の平均樹高成長速度より大きかった(Kunisaki and Kunisaki, 2004)。また、新潟県のスギ不成績造林地では、スギ造林木と萌芽由来のブナがほぼ同じ樹高成長速度であり(箕口, 1994)、富山県のスギ不成績造林地では、ウダイカンバの樹高成長速度が0.63m/年、他の広葉樹のそれが0.31m/年であった(長谷川, 1998)。これらの報告は、本研究の結果とよく一致している。

4.3.3.3. スギと広葉樹の樹高成長モデル

図-4.14 に、スギおよび高木性広葉樹の樹高成長と保育の関係を、モデル的に示した。い

表-4.5 主な樹種の樹高成長速度

樹種 ¹	樹高成長速度 ² (m/年)
スギ (上層木)	0.39 ± 0.04
スギ (下層木)	0.22 ± 0.02
シラカンバ	0.66 ± 0.04
ウダイカンバ	0.58 ± 0.09
ウワミズザクラ	0.50 ± 0.07
イタヤカエデ	0.49 ± 0.13
ミズメ	0.47 ± 0.05
キハダ	0.46 ± 0.07
トチノキ	0.44 ± 0.08
コシアブラ	0.43 ± 0.03
ホオノキ	0.41 ± 0.10
ミズナラ	0.38 ± 0.10
ミズキ	0.37 ± 0.06
ブナ	0.36 ± 0.03
マルバマンサク	0.37 ± 0.05
リョウブ	0.36 ± 0.11
タムシバ	0.34 ± 0.01

1: 上段はスギ、中段は高木性広葉樹、下段は小高木性・低木性広葉樹。
2: 平均値±標準偏差。

ずれの樹種も樹高成長速度が林齢 30 年まで一定であると仮定して、樹高成長直線を示した。また、このモデルは、スギ下層木を除いて、各樹種の優勢個体の樹高成長過程を示すため、樹種間の相互作用は考慮しなかった。スギの樹高成長を表す直線の傾きには、上層木と下層木の樹高成長速度をそのまま用いた。広葉樹の樹高成長は、成長が速いもの、中庸なもの、遅いものの 3 グループに分けて示した。成長が速い広葉樹の樹高成長速度は、シラカンバとウダイカンバの平均値 (0.62m/年) とし、中庸なものはミズメ、キハダ、ホオノキの平均値 (0.45m/年)、遅いものはミズナラ、ミズキ、ブナの平均値 (0.37m/年) とした。ウダイカンバは、潜伏芽による萌芽能力を欠くため、除伐によって消失しやすい (長谷川, 1998)。シラカンバにも同じ性質があると考え、成長が速い広葉樹は、除伐後には再生しないこととした。

植栽後の保育作業が行われない林分 (図-

4.14, a) や下刈りだけの林分 (図- 4.14, b) では、高木性広葉樹が存在すれば、その樹高成長速度がスギ上層木に対して大きいかほぼ同じであるため、スギと広葉樹の混交林が成立する。ここで、下刈りが広葉樹に対して致命的な影響を与えないのは、広葉樹に萌芽再生能力が備わっている (長谷川, 1998) ことに加え、広葉樹の樹高成長速度が大きいことによるといえる。また、ウダイカンバが下刈り終了後の早い時期に造林木を追い越して林分の優占種となることだが、スギ造林地 (長谷川, 1992) やカラマツ造林地 (大住ら, 1986) で観察されている。した

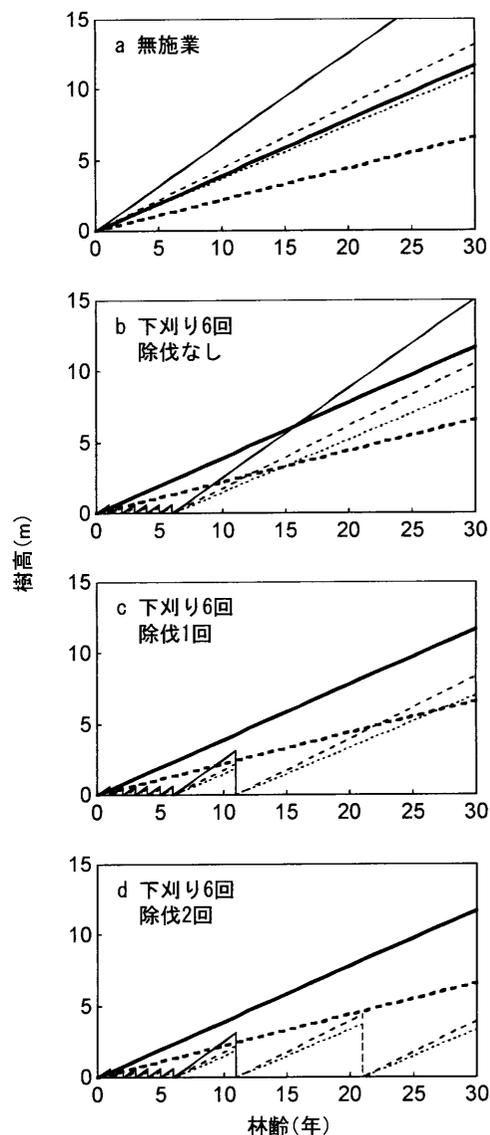


図-4.14 スギと広葉樹の樹高成長モデル

実線(太)はスギ上層木(樹高成長速度0.39m/年), 破線(太)はスギ下層木(0.22m/年), 実線(細)は成長の速い広葉樹(0.62m/年), 破線(細)は成長の中庸な広葉樹(0.45m/年), 点線は成長の遅い広葉樹(0.37m/年)を示す。

がって、スギ上層木の本数密度が少ない場合や、成長の速い広葉樹の本数密度が高い場合には、無施業や下刈りのみでは、広葉樹が成立しやすいと考えられる。

これに対して、除伐で広葉樹が伐採されると（図－4.14, c）、ウダイカンバなど一部の樹種が消失するとともに、スギと広葉樹の樹高差が大きくなるため、広葉樹の樹高がスギに追いつくまでの年数が長くなる。除伐の回数が多くなれば（図－4.14, d）、広葉樹に対する影響はもっと大きくなる。したがって、不成績造林地における除伐は、広葉樹の再生を妨げることで、それ以後の森林の成立を阻害する要因になる可能性がある。

4.4. スギ不成績造林地における広葉樹の種組成

4.4.1. 目的

本章のこれまでの節（4.1～4.3）で、スギ不成績造林地には多くの広葉樹が混生し、それらの生育は、スギの生育状態や造林地の保育作業の種類や回数に影響を受けることを示した。広葉樹が混交する不成績造林地は、スギ・広葉樹混交林あるいは広葉樹林が将来の目標林型となり、生育する広葉樹の樹種や樹幹の形状によっては、木材生産を目的とすることができる可能性があると考えられた。

したがって、広葉樹が混交するスギ不成績造林地の将来を予測したり、今後の施業方法を検討するうえで、そこに生育する広葉樹の種組成は重要な因子となる。本節では、広葉樹が混交する不成績造林地に出現する広葉樹について、種組成の特徴を検討する。

4.4.2. 資料と解析方法

解析には、前節 4.3 の解析に用いた調査地のデータを使用した。ただし、調査地（St.23）は、調査対象木の選定基準が他の調査地と異なることから、除外した。解析は、胸高直径 2cm 以上の広葉樹を対象とした。

各調査地の種組成の比較には、本数密度と胸高断面積合計による出現種の積算優占度、および Simpson 指数（Simpson, 1949）を使用した。

積算優占度は、

$$\text{積算優占度} = (\text{相対密度} + \text{相対胸高断面積合計}) / 2 \dots\dots\dots (4.1)$$

で計算される。ここで、

$$\text{相対密度} = \text{その種の本数密度} / \text{全広葉樹の本数密度} \dots\dots\dots (4.2)$$

$$\text{相対胸高断面積合計} = \text{その種の胸高断面積合計} / \text{全広葉樹の胸高断面積合計} \dots\dots (4.3)$$

である。

また、Simpson 指数は

$$\text{Simpson 指数} = \sum (\text{出現種の積算優占度})^2 \dots\dots\dots (4.4)$$

である。この指数は、優占種の集中度を示し、0 から 1 までの値をとり、値が大きいほど出現種の平衡性や多様性が低いことを示す。

調査地間の類似度は、パーセント類似度 (Whittaker, 1952) によって求めた。

$$\text{パーセント類似度} = \sum (\text{ある種の調査地 A における積算優占度と} \\ \text{調査地 B における積算優占度の、小さいほうの値}) \dots\dots\dots (4.5)$$

ここで、調査地 A および調査地 B は、比較する 2 つの調査地である。パーセント類似度は、0 から 1 までの値をとり、2 つの調査地の出現種がまったく異なるときに 0 である。

4.4.3. 結果

4.4.3.1. 出現樹種とその優占度

解析に用いた 27 調査地に出現した広葉樹は 42 種、そのうち高木性樹種は 24 種であった。

出現率が最も高かった樹種はミズキ(63%)で、次いで高かったのはミズナラ(56%)であった。その他に30%以上の出現率を示した樹種は、ウワミズザクラ、ホオノキ、バッコヤナギ、コハウチワカエデ、タニウツギ、ツノハシバミであった。ブナの出現率は26%であった。

各調査地における広葉樹は、出現種数が2~12種で、本数密度が826~21,830本/haであった。高木性広葉樹の出現種数は、1~10種であり、6種が出現した調査地が最も多かった(図-4.15)。高木性広葉樹の本数密度は、551~11,641本/haであった。各調査地のSimpson指数をみると、指数の小さい調査地、すなわち特定の種への集中度の低い調査地が多かった(図-4.16)。指数が0.7以上の調査地における優占種は、ミズナラあるいはミズキであった。

高木性広葉樹の各樹種の積算優占度を合計した値(積算優占度合計)の頻度分布を図-4.17に示す。高木性広葉樹の積算優占度合計の大きい調査地が、多かった。このことは、スギ不成績造林地に生育する広葉樹の多くは、高木性広葉樹であることを示している。

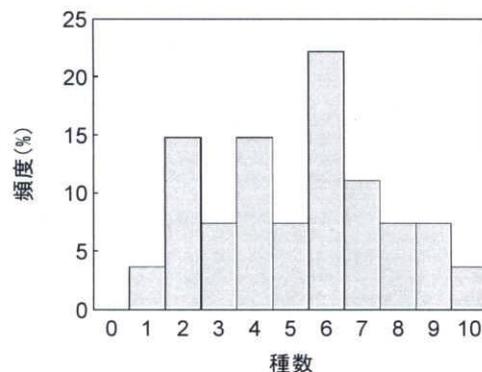


図-4.15 高木性広葉樹の出現種数の頻度分布

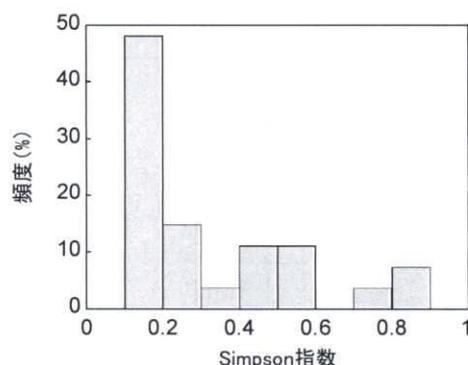


図-4.16 広葉樹における優占種への集中度(Simpson指数)の頻度分布

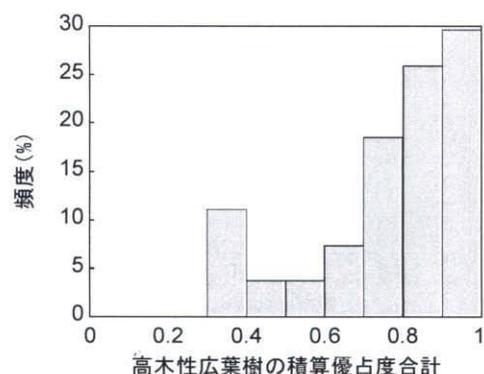


図-4.17 高木性広葉樹の積算優占度合計の頻度分布

4.4.3.2. 調査地間の種組成の類似性

図-4.18 は、2つの調査地間（全351組み合わせ）における広葉樹の種組成のパーセント類似度の頻度分布である。低い類似度の組み合わせほど数が多く、類似度0.6以上の組み合わせはわずかであった。類似度が0.6以上であった組み合わせは、ミズナラの積算優占度の高い調査地どうか、ミズキの積算優占度の高い調査地どうしであった。

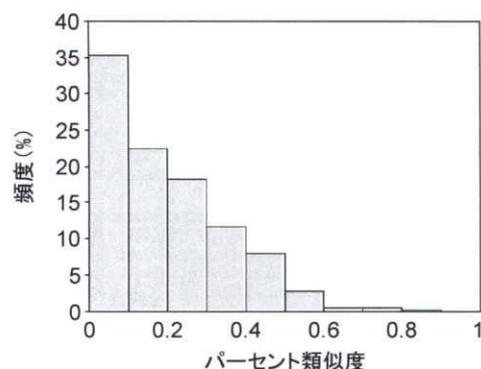


図-4.18 2つの調査地間における広葉樹の種組成のパーセント類似度の頻度分布

4.4.4. 考察

広葉樹が混交するスギ不成績造林地でも、広葉樹の種組成は調査地によって異なっていた(図-4.18)。スギ不成績造林地における広葉樹の種組成には、1) スギが植栽される前の森林の種組成やサイズ(立地や履歴が反映し、更新材料としての種子や根株の存在に影響; 前田ら, 1985), 2) 結実の豊凶に対する前生林分を伐採したタイミング, 3) 前生稚樹や埋土種子の有無や組成, 4) スギ植栽後の保育(更新した広葉樹に対する人為的圧力; 本章4.3; 長谷川, 1991, 1998), 5) 雪圧害によりスギが消失した過程やその程度, などが影響すると考えられる。このうち1)~3)は広葉樹林を伐採した後に成立する二次林の種組成についても、同じように影響する要因であるが、4)と5)はスギ造林地に特有の要因である。このように、種組成に影響すると考えられる要因が多数あることが、スギ不成績造林地の広葉樹の種組成を多様化している理由の1つであると考えられる。また、1)に関連して、研究対象地域の広葉樹林に、明らかな優占種のない混生林が多い(戸田, 1993)ことや、積雪深3.0m以上ではブナの優占度が高くなるが、それ以下の積雪深では混生林が成立する(Homma, 1997)ことも、不成績造林地での種組成の多様さに影響していると推察される。このことは、また、多くの調査地に優占種がみられなかったことの原因であるとも考えられる。

互いの類似性が低い調査地が多い一方で、ミズキやミズナラなど出現率の高い樹種が存在し

た。ミズナラの出現率が高いのは、ミズナラが優占あるいは混生する二次林（旧薪炭林）を前歴とする調査地が多かったことによると考えられる。一方、ミズキなど出現率の高い樹種は、周辺の広葉樹林において常在度が高い樹種、および種子散布力や土中での種子の寿命など更新特性が造林地に侵入するのに適した（長谷川・平，2000）樹種であった。青森県白神山地のスギ不成績造林地で、サワグルミやミズキ、キハダなどの先駆種が優占する現象（Masaki et al., 1994）と、パターンが類似している。

高木性広葉樹の積算優占度合計が大きい調査地が多かったことから、広葉樹が混交するスギ不成績造林地の多くは、スギと広葉樹が混交する高木林、あるいは広葉樹の高木林へと移行すると推察できる。したがって、これらの林型を広葉樹が混交するスギ不成績造林地の目標林型とする（本章 4.1）ことは妥当であると考えられる。ただし、高木性広葉樹の組成が林分によって様々であったことから、目標林型が同じであっても、それぞれの不成績造林地の今後の施業方法は、構成樹種に応じたものにする必要があるといえる。

4.5. 森林簿によるスギ不成績造林地の判別と面積の推定

4.5.1. 目的

第 3 章 (3.2) と本章 (4.1) で、造林木が雪圧害を受けたスギ造林地では、木材生産林としての成林が期待できない場合が存在することを明らかにした。このようなスギ不成績造林地の事例は、他の地域（大原・小野寺，1988；大原・栗田，1993；矢野ら，1988；矢野・榎谷，1989；赤井ら，1989a, 1989b；小谷，1990；佐藤，1990；鈴木・富樫，1993；石塚・宇都木，1995）でも報告されている。

ところが、不成績造林地がどの程度の面積を占めるかを示した報告はみられない。この理由として、不成績造林地の定義（横井・山口，1998）が、具体的な基準にまで及んでいないこと、実際に広域から不成績造林地を抽出する方法が検討されていないことがあげられる。

本節では、スギ人工林の成績評価に用いた成林度（第 3 章 3.2）を不成績造林地の判定基準とし、不成績造林地の面積を推定することを試みる。森林簿が、森林タイプとともに面積や立地に関する情報をもつことに着目し、森林簿を利用した推定法について検討する。

4.5.2. 方法

4.5.2.1. 解析に使用した調査資料

岐阜県の森林簿に含まれる立地条件のデータは、標高、傾斜、土壌型、地質、積雪深の5項目である。本研究では、そのうちの標高と傾斜、積雪深について検討することにした。これは、土壌型は成林度に対する影響が小さく、地質

表-4.6 岐阜県の森林簿における自然立地条件の区分

クラス	標高(m)	傾斜(度)	積雪深(cm)
1	0 ~ 49	0 ~ 4	0 ~ 49
2	50 ~ 99	5 ~ 9	50 ~ 99
3	100 ~ 199	10 ~ 14	100 ~ 149
4	200 ~ 399	15 ~ 19	150 ~ 199
5	400 ~ 599	20 ~ 24	200 ~ 249
6	600 ~ 799	25 ~ 29	250 ~
7	800 ~ 999	30 ~ 34	
8	1000 ~ 1199	35 ~ 39	
9	1200 ~ 1399	40 ~ 44	
10	1400 ~ 1599	45 ~	
11	1600 ~		

と成林度の関係は検討されていない(第3章3.2)ことによる。

解析に用いた資料は、林小班が特定されている108調査地(第3章,本章)である。これらの調査地で実測した数値を、森林簿のクラス分け(表-4.6)に従って整理したものを「調査データ」と呼ぶ。また、各調査地の森林簿上の標高、傾斜、積雪深を「森林簿データ」と呼ぶ。

4.5.2.2. 森林簿データによる成林度の推定

108調査地をサンプルとし、「成林度」(第3章3.2)を外的基準、「森林簿データ」を説明変数にした、数量化I類分析を行った。成林度は、スギ木材生産林としての成林の指標である成林度A、およびスギ高木林としての成林の指標である成林度Bがある。成林度A・Bとも、0~100の数値をとり、数値が大きいほど良好に成林していることを示す。

本研究の不成績造林地の定義(第1章,1.1)に従えば、スギ造林の目的が木材生産であることから、成林度Aの低い林分が不成績造林地となる。野表(1992)は、成林率(本研究の成林度Aに相当)50未満を造林不適地とした。これにならい、成林度Aが50未満を不成績造林地とした。成林度Bについては、50未満のものを高木林成立困難造林地とした。108調査地の内訳は、成林度A \geq 50が49調査地、成林度A $<$ 50かつ成林度B \geq 50が34調査地、成林度B $<$ 50が25調査地であった。

4.5.2.3. 岐阜県民有林におけるスギ不成績造林地の面積の推定

岐阜県の森林簿からスギ人工林のデータを抽出し、数量化 I 類の解析結果を使ってスギ不成績造林地の面積を推定した。スギ人工林の抽出条件は、上層が人工林で、スギの混交率が 70%以上とした。抽出したデータは、市町村ごと、標高ごと、傾斜ごと、積雪深ごとのスギ人工林の面積である。

4.5.3. 結果と考察

4.5.3.1. 森林簿データと調査データの整合性

数量化 I 類分析に使用する説明変数を決めるため、標高と傾斜、積雪深について、森林簿データと調査データを比較した。標高は、調査地の 61%で、森林簿データのクラスと調査データのクラスが一致した (図-4.19a)。一致しない場合、森林簿データと調査データの差は、1クラスであった。森林簿データと調査データには、有意な相関が認められた (Kendall の順位相関係数 $r_k = 0.732$, $p < 0.01$)。森林簿に記載されている標高は、使用に適するデータであることがわかった。

傾斜は、森林簿データのクラスと調査データのクラスが一致する場合が、わずかであった (図-4.19b)。多くの場合に、調査データが森林簿データより急傾斜を示した。調査データのクラスと森林簿データのクラスには、相関が認められなかった ($r_k = 0.32$, $p > 0.05$)。このことから、傾斜という微地形の特徴については、森林簿データは誤差が大きく、使用できないこと

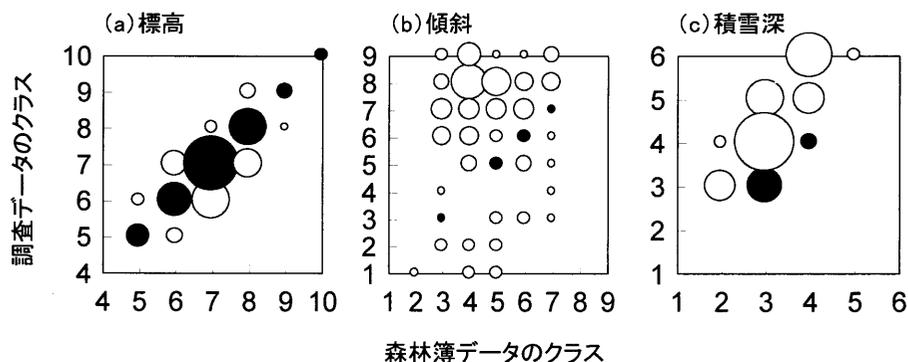


図-4.19 森林簿データと調査データの比較

クラス区分は、表-4.6を参照。円の面積は、データ数に比例する。黒い円は森林簿データと調査データとが一致した調査地、白い円は両者が一致しない調査地を示す。

がわかった。

積雪深は、森林簿データのクラスと調査データのクラスが一致する 경우가少なかった（図－4.19c）。調査データの積雪深は、つねに森林簿データの積雪深以上で、両者の相関は高かった（ $r_k = 0.729$, $p < 0.01$ ）。森林簿に記載されている積雪深は、実際の積雪深の値としては不正確であるが、相対的な積雪深の大小を表現するものであることがわかった。

4.5.3.2. 森林簿データからの成林度の推定

成林度 A と成林度 B を外的基準、森林簿データの積雪深と標高を説明変数として、数量化 I 類分析を行った（表－4.7）。重相関係数は、成林度 A、成林度 B ともに有意（ $p < 0.01$ ）であった。偏相関係数は、成林度 A における標高以外が有意（ $p < 0.01$ ）であり、成林度 A の標高もレンジが他と比べて低くはなかった。このことから、成林度 A および成林度 B は、積雪深と標高から推定することが可能であることがわかった。推定の精度は、成林度 B が成林度 A より高かった。

この解析により、成林度 A、成林度 B ともに、2 要因で 12 の組合せ（積雪深 3 通り×標高 4 通り）で成林度が推定された。そのうち、不成績造林地とした成林度 A < 50 となったのは 6 組合せ、高木林成立困難造林地とした成林度 B < 50 となったのは 4 組合せであった。

森林簿データから推定した成林度に基づく不成績造林地、高木林成立困難造林地の判定が、実測値に基づく判定と一致した比率を、図－4.20 に示す。森林簿データから不成績造林地と

表－4.7 数量化 I 類分析による森林簿データからの成林度の推定

要因	カテゴリー	度数	成林度 A			成林度 B		
			スコア	レンジ	偏相関係数	スコア	レンジ	偏相関係数
積雪深	2	12	32.4	66.6	0.59**	16.9	39.5	0.58**
	3	60	14.1			10.1		
	4,5	36	-34.2			-22.5		
標高	5,6	30	1.0	41.2	0.26	6.4	64.8	0.61**
	7	46	5.4			9.2		
	8	26	-2.3			-10.8		
	9,10	6	-35.8			-55.6		
定数			47.1			75.6		
重相関係数（決定係数）			0.64** (0.41)			0.77** (0.59)		

** : $p < 0.01$ で有意。

判定された調査地の 95 %は、実際に不
 成績造林地であった。森林簿データか
 ら不成績造林地でないと判定された調
 査地の一致率は 68 %で、やや低かった。
 不成績造林地と非不成績造林地を込み
 にすると、判定結果の一致率は 78 %で
 あった。

森林簿データから高木林成立困難造
 林地でないと判定された調査地の一致
 率は 93 %，高木林成立困難造林地と判
 定された調査地の一致率は 76 %であっ

た。また、高木林成立困難造林地と非高木林成立困難造林地を込みにした一致率は、89 %で
 あった。

以上のことから、森林簿データの積雪深と標高から、78 %の確からしさで不成績造林地か
 どうか判定でき、同じく 89 %の精度で高木林成立困難造林地かどうか判定できるといえ
 る。

4.5.3.3. 岐阜県におけるスギ不成績造林地の面積

森林簿から、岐阜県の民有林全体で 90,352ha のスギ人工林を抽出した。岐阜県における各
 森林計画区のスギ人工林の面積は、揖斐川計画区 19,325ha，長良川計画区 33,239ha，飛騨川計
 画区 9,058ha，木曾川計画区 4,494ha，宮・庄川計画区 24,236ha であった。それらのスギ人工
 林には、数量化 I 類の解析に供しなかった積雪深や標高のものが計 24,930ha（全体の 28%）
 あり、そのほとんどは積雪深区分 1 の林分、あるいは標高区分 1～4 の林分であった。それら
 の成林状況を類推した結果、24,904ha は不成績造林地ではないと判定した。

森林計画区ごとに成林状況を推定したところ、不成績造林地と推定されたスギ人工林の面積
 は、揖斐川計画区 300ha（区内のスギ人工林の 2%），長良川計画区 1,737ha（同 5%），飛騨川

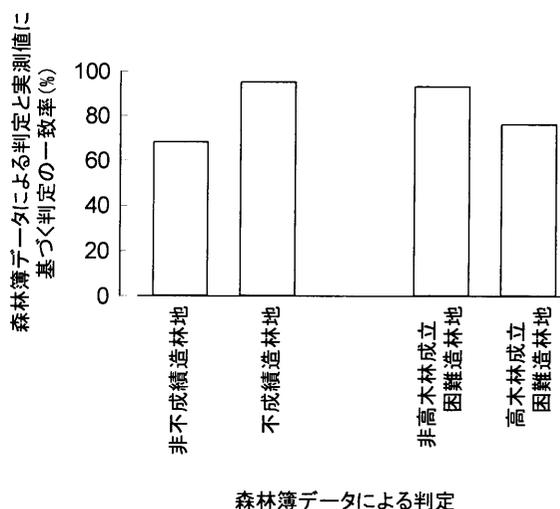


図-4.20 森林簿データによる成林状況の判定の確
 からしさ

非不成績造林地は成林度A \geq 50，不成績造林地は成林
 度A<50，非高木林成立困難造林地は成林簿B \geq 50，高
 木林成立困難造林地は成林度B<50である。

計画区 85ha (同 1%), 木曾川計画区 1ha (同 0%), 宮・庄川計画区 6,539ha (同 27%) であった。岐阜県では、スギ不成績造林地の多くが本研究の対象地域である宮・庄川計画区に存在すると推定された。また、宮・庄川計画区の高木林成林困難造林地の面積は、4,590ha (区内のスギ人工林の 19%) であった。

第5章 スギ造林に由来する壮齡スギ・広葉樹混交林の林分構造と成立過程

5.1. 目的

第4章では、比較的若いスギ不成績造林地の実態を解析し、その多くに広葉樹が混交していることを明らかにした。また、広葉樹が混交するスギ不成績造林地は、スギ・広葉樹混交林として育成することが望ましいことを指摘した。赤井ら（1990）や小谷（1990a）、前田（1992）、石塚・宇都木（1995）も、同様の指摘を行っている。

これらの指摘を裏付けるためには、現存するスギ不成績造林地の調査結果だけでなく、スギ造林木と天然更新した広葉樹が混交する、より高齢な森林の成立過程および林分構造を明らかにする必要がある。しかし、このような事例は、新潟県における約60年生のスギ・ブナ混交林の林分構造と成長過程（箕口，1994）が示されているにすぎない。

本章では、植栽起源のスギと天然更新した広葉樹が混交する壮齡のスギ・広葉樹混交林を調査し、その林分構造や成立過程を解析する。

5.2. 調査地と方法

調査地は、岐阜県大野郡白川村牛首の2林分、同清見村大原の3林分、飛騨市宮川町森安の1林分、同神岡町流葉の2林分である（表-5.1, 図-5.1）。これらの林分は、過去のスギ造林に由来するスギと天然更新した広葉樹が混交する壮齡林分である。

調査は、1992年8月と1993年5月に行った。調査区は、半径8mの円形とした。調査区内の胸高直

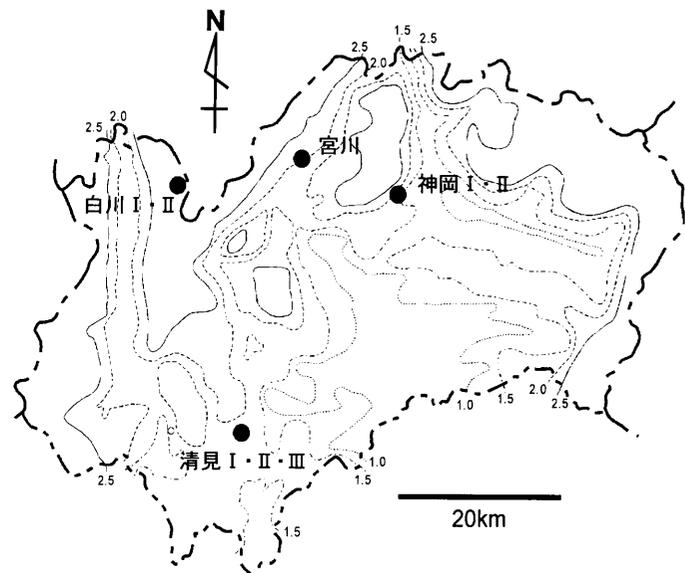


図-5.1 調査地の位置

黒丸は調査地の位置を示す。点線は1.0m、一点鎖線は1.5m、破線は2.0m、実線は2.5mの最深積雪深等値線を示す。

表-5.1 調査地の概要

調査地	林齢 (年)	海拔 (m)	地形	斜面傾斜角 (度)	最深積雪深 (m)
白川Ⅰ	56	1,050	山腹中部複合斜面	32	2.5
白川Ⅱ	58	1,000	山腹下部平衡斜面	26	2.5
宮川	69	750	山腹中部平衡斜面	30	2.0
神岡Ⅰ	65	680	山腹中部平衡斜面	17	1.5
神岡Ⅱ	65	700	山腹中部平衡斜面	20	1.5
清見Ⅰ	40	870	山腹下部凸斜面	38	1.5
清見Ⅱ	40	910	山腹下部平衡斜面	36	1.5
清見Ⅲ	40	900	山腹中部平衡斜面	39	1.5

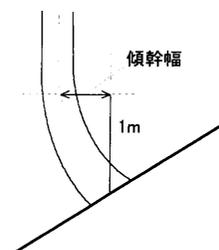


図-5.2 広葉樹の根元曲がりの測定方法

径 5cm 以上のすべての立木を対象に、樹種、胸高直径、樹高、枝下高、根元曲がり、幹の形状、樹冠の被圧度について、毎木調査を行った。根元曲がりは、スギについては鉛直高と水平長（図-3.2）を、広葉樹については傾幹幅（図-5.2）を測定した。幹の形状は、根元曲がりの部分を除いた樹幹下部の通直性を、目視により「通直（ほとんど曲がりなし）」、「曲がり小（矢高で 10cm 程度以下の小さい曲がり）」、「曲がり中（曲がり小と大の中間）」、「曲がり大（原木市場に出せないほど大きい曲がり）」に区分した。樹冠の被圧度は、樹冠が直達光を受けられる位置にあるかないかに区分した。

白川Ⅰ・Ⅱでは、毎木調査後、それぞれの調査区の周辺で、樹幹解析用の試料木を伐倒した。伐倒木は、白川Ⅰではスギ 2 本とミズナラ 2 本、白川Ⅱではスギ 2 本とミズナラ、ブナ、ハリギリ、ホオノキの各 1 本とした。これらは、白川Ⅰのスギ 1 本が劣勢木であった以外は、すべて優勢木である。伐倒木は幹に沿って地上高 0.2m から 2m ごとに切断し、各断面の年輪数を数え、残った梢端部の長さを測定した。

5.3. 結果

5.3.1. 林分構造

図-5.3 に、各調査地の樹高階分布を示す。全般的に、スギの樹高は、樹高の高いグループと樹高の低いグループに分かれた。ただし、神岡Ⅱには、樹高の低いスギが存在しなかった。広葉樹の樹高階分布をみると、樹高の高いところのみモードがある調査地（白川Ⅱ、宮川、神岡Ⅰ、清見Ⅱ）と、モードが 2 つある調査地（白川Ⅰ、神岡Ⅱ、清見Ⅰ、清見Ⅲ）があった。スギ以外の針葉樹は、神岡Ⅱにアカマツ、清見Ⅰ・Ⅱにカラマツとヒノキ、清見Ⅲにカラマツ

が存在した。アカマツと清見 I・III のカラマツは、最大の樹高階にみられた。

各調査地において、直達光を受けられる位置に樹冠がある立木の中で、最小の樹高は、白川 I が 14m、白川 II が 17.5m、宮川が 13m、神岡 I が 16m、神岡 II が 15m、清見 I・II・III が 12m であった。この樹高以上を上層、それ未満を下層と定義する。上層におけるスギと広葉樹の樹高の関係は、清見 I を除いて、スギの樹高が広葉樹の樹高より高い傾向にあった。

表-5.2 に、上層木の樹種別の胸高直径階分布を示す。スギ上層木の本数密度は、52 ~ 798 本/ha であり、本数密度が低い調査地が多かった。各調査地における広葉樹上層木は、1 ~ 5 種であった。白川 I では、スギとミズナラが、ほぼ同じ胸高直径階にみられた。白川 II では、スギより胸高直径が大きいミズナラが存在した。宮川は、スギとケヤマハンノキの本数が多く、ケヤマハンノキの胸高直径は全体的にスギより小

さかった。神岡 I では、胸高直径はスギとクリ、ミズナラが大きく、本数はホオノキが多かった。神岡 II では、アカマツの胸高直径が最も大きく、次いでスギとクリに胸高直径の大きい林木があった。本数は、クリが最も多かった。清見 I では、胸高直径の大きい林木はスギ、カラマツ、ヒノキ、クリ、イヌブナ、ホオノキにみられ、本数はホオノキが最も多かった。清見 II では、胸高直径はスギが大きく、本数もスギが最も多かった。広葉樹の中では、ミズキが胸高

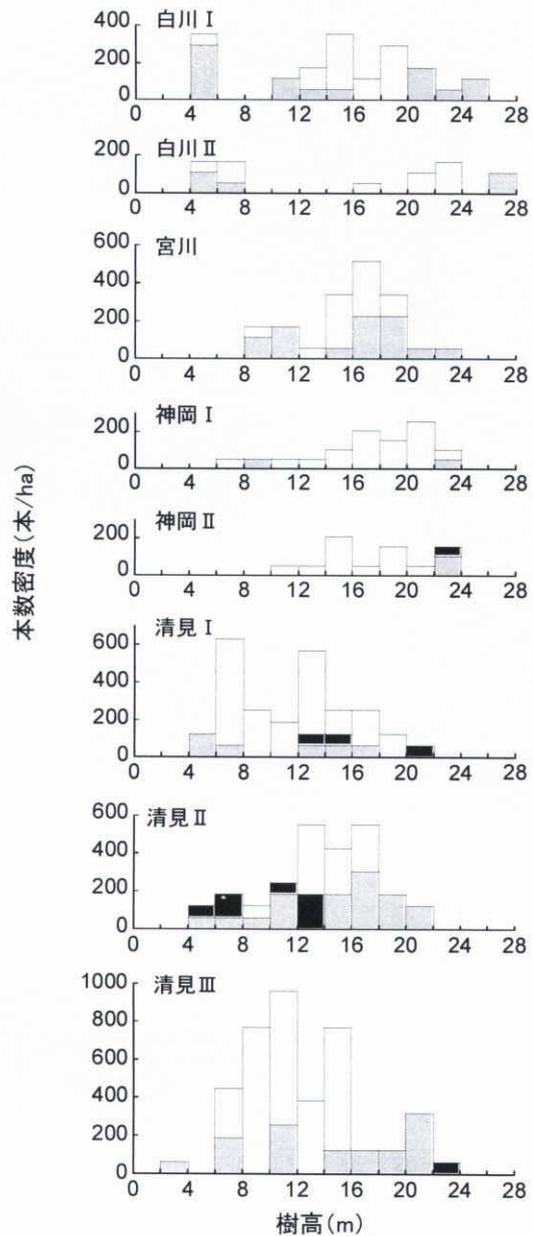


図-5.3 樹高階分布

斜線はスギ、黒塗りはスギ以外の針葉樹、白抜きは広葉樹を示す。

表-5.2 上層木の胸高直径階分布

調査地	樹種	胸高直径階(cm)別の本数密度(本/ha)									合計
		5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	
白川 I	スギ				59	117	117	117			410
	ミズナラ			117	293	117	176				703
白川 II	スギ						55	55			110
	ミズナラ				111	55		55	55	55	331
宮川	スギ			57		115	115	230	115		632
	ケヤマハンノキ			57	115	230	287				689
	シラカンバ					57					57
	ミズメ					57					57
	ミズナラ		57								57
神岡 I	スギ						52				52
	クリ					52	104				156
	ミズナラ					52					52
	ホオノキ		52	52	208						312
	イタヤカエデ		52	52							104
	ウリハダカエデ		52								52
神岡 II	スギ					53		53			106
	アカマツ								53		53
	クリ			106	53		106				265
	ミズナラ		53		106						159
	イタヤカエデ		53								53
清見 I	スギ			63	63		63				189
	カラマツ				63						63
	ヒノキ		63		63						106
	ホオノキ			253	126	63					442
	イヌブナ					63					63
	クリ				63						63
	ミズメ	126	126								252
	ミズナラ		63								63
清見 II	スギ		61	184	246	123	123	61			798
	カラマツ			63							63
	ヒノキ			123							123
	ミズキ	61	246		123						430
	クリ		61	123							184
	ホオノキ	61	61	61							183
	ウワミズザクラ		61								61
清見 III	スギ			256	192	64	192				704
	カラマツ				64						64
	クリ		128	256	64						448
	アカシデ	64	192	128							384
	ホオノキ			64							64
	オオヤマザクラ			64							64
	ウリハダカエデ		64								64

直径が大きく、本数も多かった。清見Ⅲでは、胸高直径はスギが大きく、本数は、多い順にスギ>クリ>アカシデであった。

図- 5.4 は、林齢と上層木の本数密度の関係を示す。林齢の近い調査地どうして本数密度を比較すると、清見Ⅱ・Ⅲは清見Ⅰの 1.4 ~ 1.5 倍、白川Ⅰは白川Ⅱの 2.5 倍、宮川は神岡Ⅰ・Ⅱの 1.9 ~ 2.2 倍であり、調査地による本数密度の違いが大きかった。図中の曲線は、岐阜県多雪地帯のスギ人工林（岐阜県林政部，1983）における、林齢と本数密度の関係である。調査地の本数密度は、スギ人工林の地位級 1 から地位級 5 の本数密度の範囲におおむね収まった。

ただし、岐阜県のスギ人工林の地位級は 1 (最高) ~ 5 (最低) に区分されている。また、調査地の本数密度には、スギ以外の針葉樹と広葉樹が含まれている。

図- 5.5 は、林齢とスギ上層木の樹高の関係を示す。岐阜県多雪地帯のスギ人工林 (岐阜県林政部, 1983) の林齢と樹高の関係と対照すると、白川 II のスギの樹高は地位級 2 に、清見 II・III と白川 I および神岡 I・II は地位級 3 に、清見 I は地位級 4 に、宮川は地位級 5 に相当した。

各調査地の林分材積は 300 ~ 802m³/ha で、林齢の高い調査地の材積が、必ずしも大きくはなかった (図- 5.6)。岐阜県多雪地帯のスギ人工林 (岐阜県林政部, 1983) と比較すると、清見 II・III と白川 I および宮川は地位級 3 より材積が大きく、残りの 4 調査地は地位級 3 より材積が小さかった。また、岐阜県におけるブナ・ミズナラ型広葉樹林の地位 (中) (岐阜県林政部, 1992) と比較すると、6 調査地の林分材積とも、これより大きかった。

5.3.2. 根元曲がりの程度と幹の形状

スギ上層木と広葉樹上層木について、根元曲がりの程度および幹の形状を表- 5.3

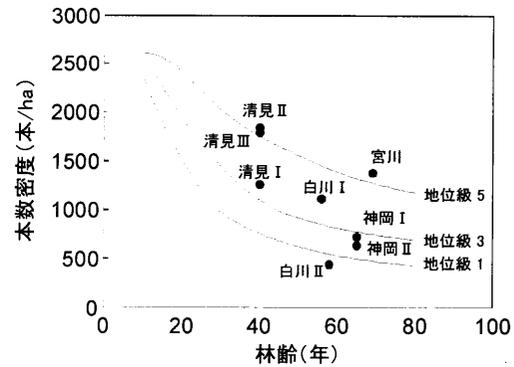


図-5.4 林齢と上層木の本数密度の関係

黒丸は調査地である。曲線は、岐阜県多雪地帯におけるスギ人工林の林齢と本数密度の関係 (岐阜県林政部, 1983) を示す。

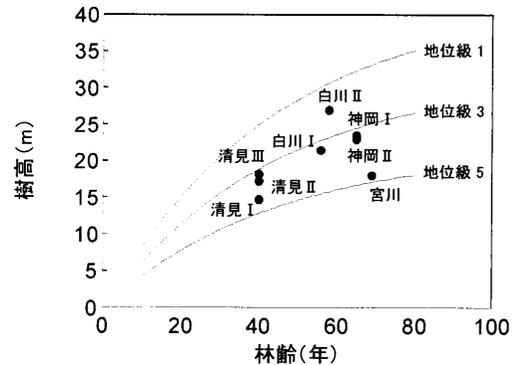


図-5.5 林齢とスギ上層木の樹高の関係

黒丸は調査地である。曲線は、岐阜県多雪地帯におけるスギ人工林の林齢と樹高の関係 (岐阜県林政部, 1983) を示す。

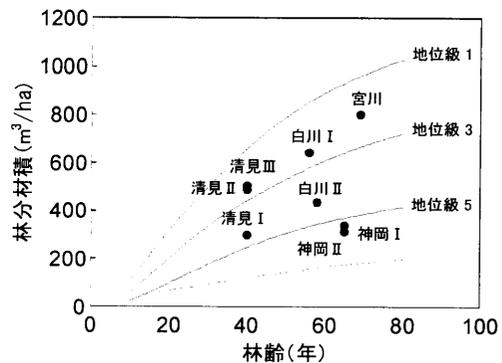


図-5.6 林齢と林分材積の関係

黒丸は調査地である。実線は、岐阜県多雪地帯におけるスギ人工林の林齢と林分材積の関係 (岐阜県林政部, 1983) を示す。点線は、岐阜県におけるブナ・ミズナラ型広葉樹林の地位 (中) の林齢と林分材積の関係 (岐阜県林政部, 1992) を示す。

表-5.3 スギ上層木と広葉樹上層木の根元曲がりの程度と幹の形状

調査地	樹種	根元曲がり鉛直高 ¹ (cm)	根元曲がり水平長 ¹ (cm)	傾幹幅 ¹ (cm)	幹の形状別の頻度 (%)			
					通直	曲がり小	曲がり中	曲がり大
白川Ⅰ	スギ	133	46	—	0	86	14	0
	ミズナラ	—	—	78	0	36	27	36
白川Ⅱ	スギ	115	15	—	50	50	0	0
	ミズナラ	—	—	48	50	33	17	0
宮川	スギ	134	46	—	0	27	64	9
	広葉樹	—	—	89	0	38	31	31
神岡Ⅰ	スギ	90	30	—	0	100	0	0
	広葉樹	—	—	48	31	38	23	8
神岡Ⅱ	スギ	50	10	—	0	100	0	0
	広葉樹	—	—	65	33	22	44	0
清見Ⅰ	スギ	20	3	—	67	33	0	0
	広葉樹	—	—	30	36	57	7	0
清見Ⅱ	スギ	70	15	—	54	38	8	0
	広葉樹	—	—	57	14	29	50	7
清見Ⅲ	スギ	40	9	—	82	18	0	0
	広葉樹	—	—	62	0	69	25	6

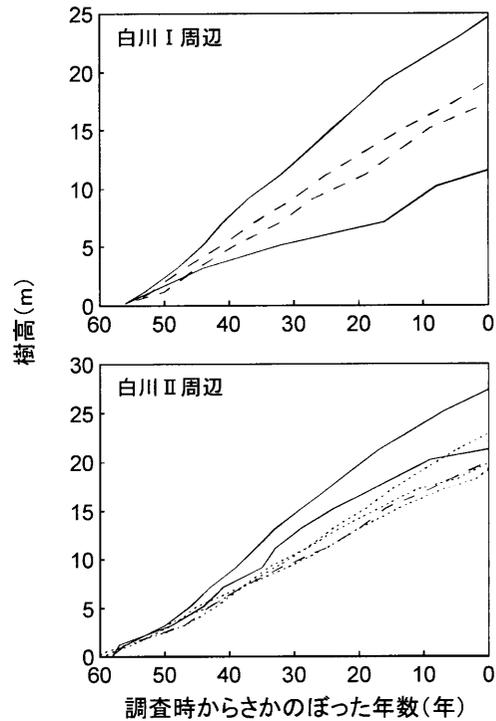
1: 平均値を示す。

に示した。スギの根元曲がり鉛直高は、最深積雪深の大きい白川Ⅰ・Ⅱと宮川で大きかった。この3調査地において、スギの根元曲がり水平長と広葉樹の傾幹幅は、斜面傾斜角の大きい白川Ⅰと宮川で大きかった。白川Ⅰと宮川では、幹の形状が「通直」の林木は、存在しなかった。白川Ⅰでは、「曲がり小」のスギが多かったが、宮川では、「曲がり中」のスギが多かった。また、白川Ⅰと宮川では、「曲がり大」の広葉樹の頻度が、他の調査地より高かった。白川Ⅱのスギと広葉樹は、「通直」と「曲がり小」の頻度が高かった。

最深積雪深が 1.5m である神岡Ⅰ・Ⅱと清見Ⅰ・Ⅱ・Ⅲでは、スギの根元曲がりが比較的小さかった。神岡Ⅰ・Ⅱでは、すべてのスギが「曲がり小」であった。神岡Ⅰでは、広葉樹の 69% が「通直」あるいは「曲がり小」であり、神岡Ⅱでは、広葉樹の 55% が「通直」か「曲がり小」であった。清見Ⅰ・Ⅲのスギは、「通直」か「曲がり小」であり、清見Ⅱのスギは「通直」と「曲がり小」が多かった。神岡Ⅰと清見Ⅰの広葉樹は、「通直」と「曲がり小」の頻度が高く、清見Ⅲの広葉樹は、「曲がり小」の頻度が高かった。神岡Ⅱと清見Ⅱの広葉樹は、「曲がり中」の頻度が高かったが、50%以上は「通直」か「曲がり小」であった。

5.3.3. 樹高成長過程

白川Ⅰ・Ⅱにおける、樹幹解析木の樹高成長過程を図一 5.7 に示す。広葉樹の樹齢は、それぞれの調査地で、スギとほぼ同じであった。白川Ⅰ・Ⅱとも、樹高の高いスギおよび広葉樹は、ほぼ一定の成長速度の樹高成長を示した。樹高の高いスギは、当初から広葉樹より樹高が高かった。白川Ⅰで、樹高の低いスギは、当初から、樹高成長速度が樹高の高いスギのそれより小さかった。このスギは、約 45 年前までは、ミズナラと同程度の樹高であったが、その後は成長速度が低下し、ミズナラより低い樹高で推移した。白川Ⅱで、樹高がやや低いスギは、30 年ほど前から、徐々に成長速度が低下していた。



図一5.7 樹高成長過程

実線はスギ、破線はミズナラ、点線はその他の広葉樹を示す。樹幹解析の結果を示す。

5.4. 考察

5.4.1. 混交林の成立過程

白川Ⅰ・Ⅱで、スギと広葉樹がほぼ同齢であった（図一 5.7）ことは、この混交林が前生の林分が皆伐された後に成立した森林であることを示している。また、広葉樹がスギと同時に旺盛な樹高成長を始めたことがわかった（図一 5.6）。これらの林分では、スギの植栽後に下刈りが行われなかったことが考えられる。研究対象地域では、最深積雪深 2.5m はスギ人工林が健全に成立する限界を超えている（第 3 章 3.2）。また、調査地のスギには、根元曲がり認められた（表一 5.3）。以上のことから、白川Ⅰ・Ⅱの混交林は、植栽されたスギの一部が雪圧害によって消失し、混交林化した造林地、すなわち不成績造林地から派生した森林であると考えら

れる。ただし、スギ造林木の消失の原因に、広葉樹による被圧が加わった可能性もある。

調査地の樹高階分布では、神岡Ⅱを除いて、スギが上層と下層に分離した(図-5.2)。豪雪地帯のスギ人工林は、二段林型になることが多い(小野寺, 1990)。本研究の調査地でも、15～31年生の範囲で林齢の高いスギ不成績造林地に、スギの二段林化の傾向がみられた(第4章4.3)。本章の各調査地のスギも、二段林型となる豪雪地帯のスギ造林地の特徴を有している。

宮川、神岡Ⅰ・Ⅱ、清見Ⅰ・Ⅱ・Ⅲにおいて、調査地に生育するスギ以外の樹種の由来は、それらの天然分布と当該地域の施業状況からみて、カラマツとヒノキは植栽であり、アカマツと広葉樹は天然更新であると考えられる。ただし、カラマツやヒノキが、スギと同時に植栽されたかどうかは不明である。これら6調査地では、スギの本数密度が低く(表-5.2)、スギ上層木に根元曲がりが存在した(表-5.3)。これらの調査地では、雪圧害によるスギの消失や成長不良(第4章4.1, 4.3)が発生したことが推察される。広葉樹やアカマツの混交は、スギの衰退がきっかけになって生じたものと考えられる。これらの6林分も、不成績造林地から派生した森林である可能性が高い。

5.4.2. スギ不成績造林地の目標林型としての評価

若齢のスギ不成績造林地で、スギ上層木の平均樹高は地位級5の基準より低かった(第4章4.1)。一方、本章で調査した混交林のスギ上層木の平均樹高は、地位級5の基準より高かった(図-5.4)。多くの調査地で、スギ上層木の樹高は、広葉樹上層木の樹高より高かった(図-5.3)。また、白川Ⅰ・Ⅱでは、スギ上層木は、当初から樹高の高い個体であった(図-5.7)。以上のことは、不成績造林地でも、初期から樹高成長の良好なスギは、混交する広葉樹に被圧されることなく主林木にまで成長できることを示している。

調査地のスギ上層木は、根元曲がりが比較的小さかった(表-5.3)。スギ造林木で、根元曲がりの小さい個体は、根元曲がりの大きい個体より樹高成長量が大きい(平, 1987)ことと対応している。

宮川を除く7調査地は、上層木に、ミズナラ、クリ、ホオノキ、ミズキなど経済価値の高い樹種が多かった(表-5.2)。この7調査地では、スギ上層木や広葉樹上層木に、幹の形状で「通

直」あるいは「曲がり小」を示す林木が多かった（表－ 5.3）。幹の形状が「曲がり小」なら、幹の肥大成長に伴う利用歩止りの向上が期待できる。「通直」と「曲がり小」の林木が用材に利用できるとすると、この7調査地では、スギ上層木と広葉樹上層木に利用可能な林木が多いといえる。この7調査地の林分材積は、同齢のスギ人工林の林分材積に比較して劣るものではなく、同齢の広葉樹林の林分材積より大きかった（図－ 5.6）。したがって、この7調査地は、木材生産機能を発揮できる森林が成立しているとみることができる。

宮川調査地では、林木の幹の形状が悪く、広葉樹も経済価値のやや低いケヤマハンノキが優占することから、木材生産機能は低いといえる。ただし、樹高 20m に達する高木林として成林していることから、環境保全機能は発揮できると考えられる。

以上のことから、スギ不成績造林地の将来目標として調査地をみると、宮川を除く7調査地は木材生産機能を重視した林型、宮川は環境保全機能を期待した林型であると、みることができる。

白川Ⅰ・Ⅱの混交林は、56～58年前にスギが植栽された後、下刈りやその他の保育作業が行われないまま発達したと考えられる。多雪地のスギ造林地において、スギ優勢木の10年生時の樹高は、下刈りを省略しても、下刈りをしたときに比べて50cm小さいだけであった（赤井ら、1987）。以上のことから、ミズナラなど高木性広葉樹が生育し、これらとスギ造林木に、根元曲がりが比較的小さい個体が多い不成績造林地であれば、そのまま放置しても良質な針広混交林が成立する可能性があると考えられる。

第6章 スギ不成績造林地の除伐による改良

6.1. 目的

広葉樹が混交するスギ不成績造林地の改良方法として、経済価値の高い広葉樹種が存在する場合に、他の樹種を除伐して木材生産林へ誘導すること(第4章4.2;清野,1991;長谷川,2000)が提案されている。しかし、スギ不成績造林地における除伐の研究(高原ら,1995;石田ら,2002)は少なく、その効果は十分に検証されていない。また、広葉樹が生育する針葉樹人工林の除伐(阿部,1991;安藤ら,1994)や天然生針広混交林の除伐(大澤ら,2001)に関する報告も少ない。除伐時期を逸すると、不成績造林地の改良が手遅れになることも懸念される。このため、スギ不成績造林地で除伐を行う有効性・必要性を、早急に明らかにする必要がある。

本研究では、広葉樹が混交するスギ不成績造林地を針広混交の木材生産林へ改良するため、除伐試験を行った。本章では、除伐後15年間の調査結果から、除伐の効果を検討する。

6.2. 試験地と方法

6.2.1. 試験地と目標林型

除伐試験は、岐阜県飛騨市宮川町(旧:吉城郡宮川村)洞の広葉樹が混交するスギ人工林(第4章4.2の調査地)で行った。

ここには、残存するスギ造林木の中に根元曲がり小さく幹が通直な個体があり、広葉樹には用材として経済価値の高い樹種が存在した(第4章4.2)。このことから、この森林の目標林型をスギと広葉樹が混交する木材生産林に設定した。

6.2.2. 試験地の設定と試験開始時の林分構造

1990年6月、除伐A区(544m²)、除伐B区(644m²)、無施業区(356m²)の3つの試験区を設置した。各試験区で胸高直径2cm以上の林木の毎木調査(樹種、胸高直径、樹高:根元と梢端との直線距離)を行った後、除伐A・B区で除伐を実施した。

除伐A区では、スギの全個体、および飛騨地域の市場に流通する樹種(佐野,1992)であ

って、樹形に大きな欠点のない広葉樹を育成木とし、それら以外の広葉樹をすべて伐倒した。ここで、樹形の欠点とは、大きな根元曲がり、幹曲がり、幹の傷などのほか、林木の成長にとつての欠点（貧弱な樹冠など）である。除伐 B 区では、スギと広葉樹（飛騨地域での流通樹種）ともに、樹形に大きな欠点のない林木を育成木とした。この区では、育成木と樹冠が競合する育成木以外の林木のみを伐倒した。無施業区においても、除伐 B 区と同じ基準で育成木を選定した。

表-6.1 に、各試験区における除伐前後の林分概要を示す。除伐前の全本数密度（胸高直径 $\geq 2\text{cm}$ ）は 9,448 ~ 12,332 本/ha で、無施業区が他の区より多かった。除伐後の本数密度は、除伐 A 区が 3,400 本/ha（すべて育成木）、除伐 B 区が 7,485 本/ha（3,836 本/ha が育成木）であった。無施業区の育成木は、4,410 本/ha であった。

除伐前における胸高直径 2cm 以上の広葉樹の種数は、除伐 A 区と除伐 B 区が 28 種、無施業区が 24 種であった。育成木とした広葉樹種は、3 試験区の平均本数密度が高い順に、ミズキ、ホオノキ、イタヤカエデ、クリ、トチノキ、キハダ、ミズナラ、ミズメ、オオヤマザクラ、ブナ、ナツツバキ、ケヤマハンノキ、ヤチダモ、シラカンバ、ウワミズザクラ、ハリギリ、ウリハダカエデ、アズキナシ、サワグルミの 19 種であった。除伐 A 区には 11 種、除伐 B 区には 14 種、無施業区には 13 種が存在した。ミズキ、ホオノキ、イタヤカエデは、いずれの試験

表-6.1 1990年における除伐前後の林分概要

	1990年・除伐前				1990年・除伐後				除伐率 (%)	
	本数密度 (本/ha)	胸高直径 ² (cm)	樹高 ² (m)	胸高断面 積合計 (m ² /ha)	本数密度 (本/ha)	胸高直径 ² (cm)	樹高 ² (m)	胸高断面 積合計 (m ² /ha)	本数	胸高断面 積合計
除伐A区 スギ	1029	8.4±4.0	5.1±1.7	6.9	1029	8.4±4.0	5.1±1.7	6.9	0	0
広葉樹	8419	3.2±1.2	4.1±0.9	7.8	2371	3.7±1.3	4.3±0.9	2.9	72	63
全立木	9448			14.7	3400			9.8	64	33
除伐B区 スギ	1444	7.9±3.2	5.0±1.4	8.2	1025	8.5±3.4	5.3±1.5	6.8	29	17
(育成木)					(994)	(8.6±3.4)	(5.4±1.4)	(6.7)		
広葉樹	8385	3.6±1.4	4.5±1.0	10.0	6460	3.5±1.4	4.4±1.0	7.1	23	29
(育成木)					(2842)	(4.5±1.4)	(5.1±0.9)	(4.9)		
全立木	9829			18.2	7485			13.9	24	24
(育成木)					(3836)			(11.6)		
無施業区 スギ	1208	5.6±2.4	3.8±1.1	3.5	—	—	—	—	0	0
(育成木)					(983)	(6.1±2.3)	(4.0±1.0)	(3.2)		
広葉樹	11124	3.3±1.7	4.0±1.0	11.7	—	—	—	—	0	0
(育成木)					(3427)	(4.1±1.8)	(4.6±1.0)	(5.4)		
全立木	12332			15.2	—	—	—	—	0	0
(育成木)					(4410)			(8.6)		

1: 胸高直径2cm以上の立木についての値。

2: 平均値±標準偏差で示す。

3: 除伐後における除伐B区と無施業区のカッコ内は育成木を示す。除伐A区は全ての保残木が育成木。

区でも本数密度が高かった。これら以外で、3 試験区ともにみられた樹種は、キハダ、トチノキ、クリ、シラカンバであった。

図-6.1 に、1990 年の胸高直径階分布を示す。

1990 年除伐前において、スギの胸高直径階分布は、除伐 A 区と無施業区がやや一様な分布、除伐 B 区が 1 山型分布を示した。除伐前の広葉樹の胸高直径階分布は、すべての試験区で逆 J 字型を示した。除伐 A 区では、直径の小さいクラスの広葉樹が多く除伐された。除伐 B 区

では、育成木以外の林木にも伐り残されたものがあり、除伐による胸高直径階分布の形の変化は、除伐 A 区ほど大きくなかった。

除伐前の樹高階分布は、スギ、広葉樹とも、すべての試験区において 1 山型分布を示した (図-6.2)。樹高階分布のモードは、除伐 A 区では、スギが広葉樹より高い樹高階にあったが、除伐 B 区と無施業区では、スギと広葉樹で同じ樹高階にあった。

スギ育成木の胸高直径と樹高は、除伐 A, B 区それぞれに対し、無施業区が小さかった (Steel-Dwass 検定, $p < 0.05$)。広葉樹育成木の胸高直径と樹高は、除伐 A 区と無施業区それ

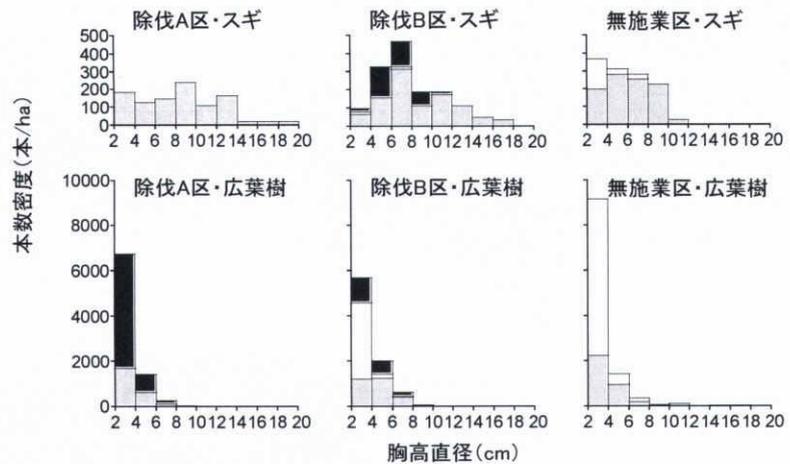


図-6.1 1990年における胸高直径階分布

斜線は育成木、黒塗りは除伐木、白抜きはそれら以外の林木を示す。スギ (上段) と広葉樹 (下段) では、縦軸のスケールが異なる。

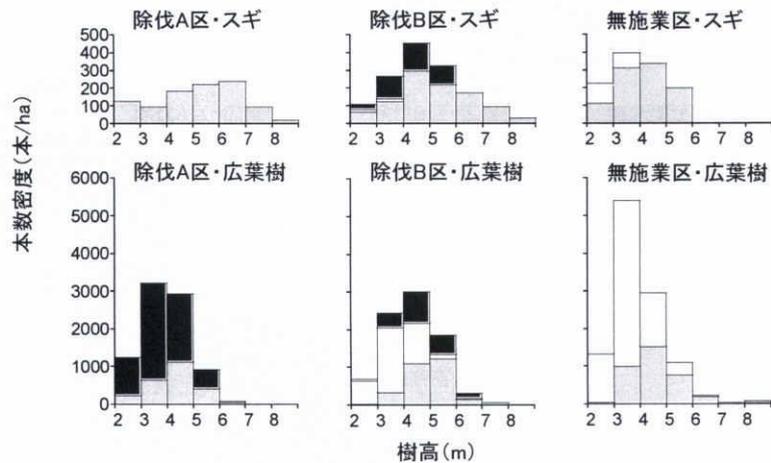


図-6.2 1990年における樹高階分布

斜線は育成木、黒塗りは除伐木、白抜きはそれら以外の林木を示す。スギ (上段) と広葉樹 (下段) では、縦軸のスケールが異なる。

それぞれに対し、除伐 B 区が大きかった (Steel-Dwass 検定, $p < 0.05$)。

6.2.3. 育成木の成長と林分構造の変化

継続調査は、1992 年 8 月、1994 年 10 月、1996 年 10 月、1998 年 10 月、2001 年 7 月、2005 年 6 月に行った。1992～1994 年の調査では、育成木について、胸高直径と樹高を測定した。1996～1998 年の調査では、育成木について、胸高直径と樹高を測定し、階層を区分した。階層は樹冠が直達光を受けられる位置にあるものを上層、それ以外を下層とした。2001 年の調査では、育成木の胸高直径と樹高の測定、階層区分を行い、さらに、無施業区の育成木以外の上層木について、胸高直径を測定した。2005 年の調査では、胸高直径 2cm 以上の林木について、胸高直径と樹高を測定し、階層を区分した。

6.3. 結果

6.3.1. 樹高階分布と胸高直径階分布

2005 年における育成木の本数は、除伐 A 区が 2,592 本/ha、除伐 B 区が 2,842 本/ha、無施業区が 3,174 本/ha であった。それらの 1990 年の育成木本数に対する割合は、除伐 A 区が 76%、除伐 B 区が 74%、無施業区が 72% であった。

図-6.3 に、2005 年の胸高直径階分布を示す。胸高直径 2cm 以上の林木に占める育成木の割合は、除伐 A 区がスギ 92%、広葉樹 95%、全体 94%、除伐 B 区がスギ 83%、広葉樹 58%、

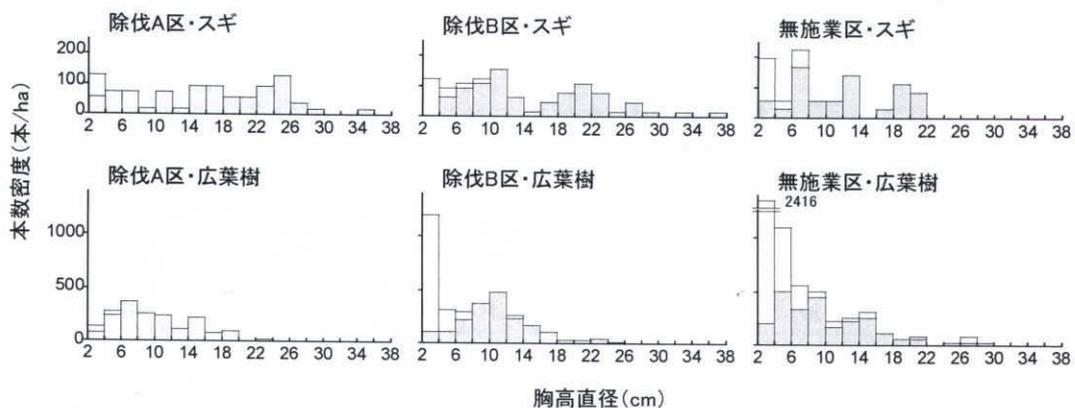


図-6.3 2005年における胸高直径階分布

斜線は育成木、白抜きは育成木以外の林木を示す。スギ (上段) と広葉樹 (下段) では、縦軸のスケールが異なる。

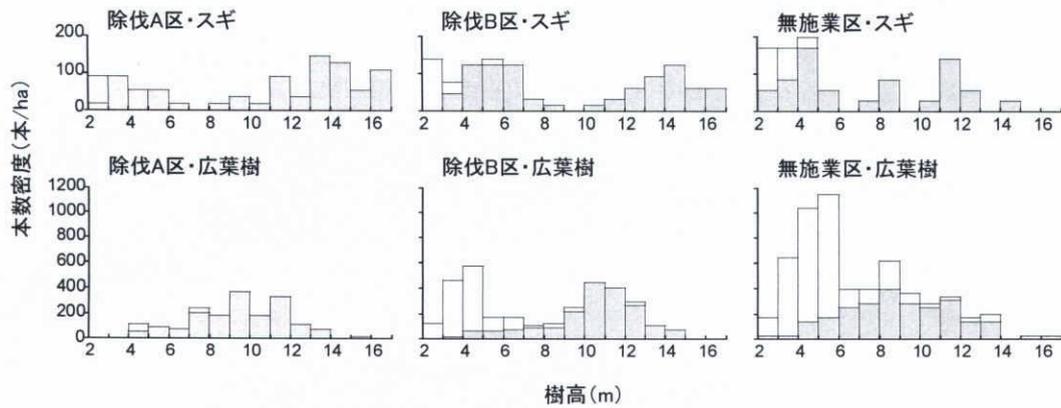


図-6.4 2005年における樹高階分布

斜線は育成木、白抜きは育成木以外の林木を示す。スギ（上段）と広葉樹（下段）では、縦軸のスケールが異なる。

全体 64%，無施業区がスギ 76%，広葉樹 42%，全体 47%であった。育成木以外の林木（非育成木とする）の多くは、胸高直径が小さかったが、無施業区の広葉樹には、胸高直径の大きい非育成木が存在した。2005 年における育成木の胸高直径は、スギ、広葉樹ともに、試験区間で異ならなかった (Kruskal-Wallis 検定, $p > 0.05$)。

図-6.4 に、2005 年の樹高階分布を示す。スギ育成木、広葉樹育成木とも、個体による樹高のばらつきが大きかった。スギ育成木の樹高階分布は、どの試験区においても 2 山型分布を示した。広葉樹育成木の樹高階分布は、すべての試験区で、1 山型またはそれに近い分布型を示した。2005 年において、スギ育成木の樹高は、除伐 A 区が無施業区より大きく、広葉樹育成木の樹高は除伐 B 区が除伐 A 区と無施業区より大きかった (Steel-Dwass 検定, $p < 0.05$)。

6.3.2. 育成木の成長

2005 年に生存していた育成木について、期首（1990 年）の胸高直径と胸高直径成長量の関係を、図-6.5 に示す。育成木の胸高直径成長量は、個体差が大きく、また、期首胸高直径が大きいほど大きくなる傾向を示した。期首胸高直径と胸高直径成長量には、すべての試験区において、スギ、広葉樹とも正の相関関係が認められた ($p < 0.01$)。

期首胸高直径の影響を考慮して、育成木の胸高直径成長量を試験区間で比較するため、期首胸高直径を共変量とする共分散分析を行い、多重比較した。スギ育成木の胸高直径成長量は、

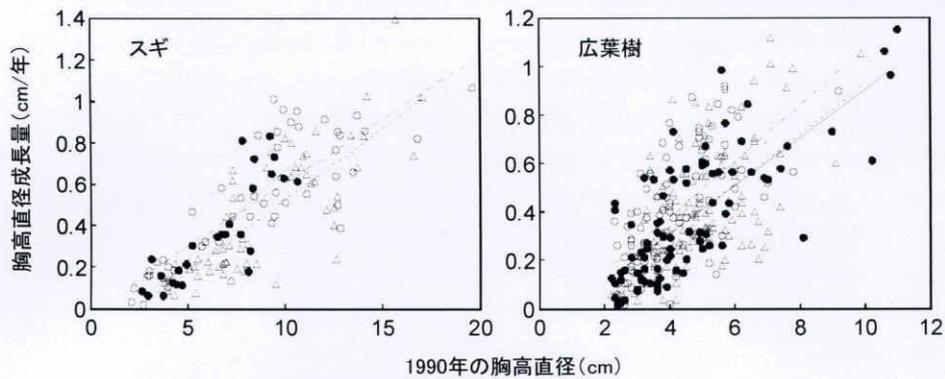


図-6.5 育成木の期首胸高直径と胸高直径成長量の関係

2005年に生存していた育成木について示す。○は除伐A区, △は除伐B区, ●は無施業区を示す。図中の直線(破線:除伐A区, 点線:除伐B区, 実線:無施業区)は, 胸高直径成長量の期首胸高直径への回帰直線である。各直線の式は, 以下のとおりである。ただし, Dgr : 胸高直径成長量 (cm/年), D : 1990年の胸高直径 (cm) である。

スギ・除伐A区: $Dgr = 0.062D - 0.007$ ($r = 0.815^{**}$)

スギ・除伐B区: $Dgr = 0.069D - 0.156$ ($r = 0.803^{**}$)

スギ・無施業区: $Dgr = 0.086D - 0.189$ ($r = 0.836^{**}$)

広葉樹・除伐A区: $Dgr = 0.115D - 0.079$ ($r = 0.656^{**}$)

広葉樹・除伐B区: $Dgr = 0.102D - 0.095$ ($r = 0.582^{**}$)

広葉樹・無施業区: $Dgr = 0.100D - 0.089$ ($r = 0.763^{**}$)

ここで, ** は $p < 0.01$ で有意であることを示す。

除伐A区が除伐B区より大きかった ($p < 0.05$)。広葉樹育成木の胸高直径成長量は, 除伐A区が除伐B区, 無施業より大きかった ($p < 0.05$)。

6.3.3. 胸高断面積合計の変化

図-6.6に, 1990年から2005年までの胸高断面積合計の変化を示す。1990年除伐後の胸高断面積合計(非育成木を含む)は, 無施業区 > 除伐B区 > 除伐A区であり, この関係

は, 2005年においても変わらなかった。1990年除伐後において, 胸高断面積合計に占める育成木の割合は, 除伐A区が100%, 除伐B区が84%, 無施業区が57%であった。

2005年における育成木の割合は, 除伐A区が99%, 除伐B区が96%, 無施業区が79%であり, 除伐B区と無施業区で育成木の割

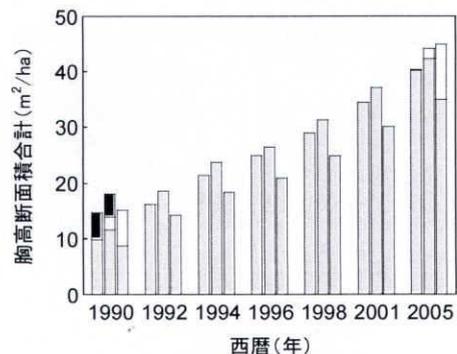


図-6.6 胸高断面積合計の変化

各年において, 左側が除伐A区, 中央が除伐B区, 右側が無施業区である。斜線は育成木, 黒塗りは除伐木, 白抜きはそれら以外の林木を示す。1992~2001年の測定は, 育成木のみ。

合が大きくなった。2005年の胸高断面積合計と1990年除伐後の胸高断面積合計の差を断面積成長量とする。非育成木を含めた断面積成長量は、除伐A区と除伐B区が $30.4\text{m}^2/\text{ha}$ 、無施業区が $29.7\text{m}^2/\text{ha}$ であった。この場合、除伐A・B区と無施業区の差は、 $0.7\text{m}^2/\text{ha}$ と小さかった。育成木の断面積成長量は、除伐A区が $30.2\text{m}^2/\text{ha}$ 、除伐B区が $30.7\text{m}^2/\text{ha}$ 、無施業区が $26.2\text{m}^2/\text{ha}$ であった。この場合、除伐A・B区と無施業区の差は、 $4.0\sim 4.5\text{m}^2/\text{ha}$ であった。

6.3.4. 上層木の本数密度と胸高断面積合計

1996年以降について、上層木の本数密度と胸高断面積合計の変化を、図-6.7に示す。除伐A区における上層の育成木（上層育成木とする）と除伐B区の上層育成木は、本数密度、胸高断面積合計とも、ほぼ同様に推移した。無施業区における上層育成木の本数密度は、1998年には除伐A・B区の上層育成木の1.2倍であったが、1998年から2001年にかけて急激に減少し、2005年には除伐A・B区よりも低くなった。また、無施業区の全上層木の本数密度は、2001年には除伐A・B区の1.3～1.4倍であったが、2005年には除伐A・B区の1.1～1.2倍にまで減少した。無施業区の胸高断面積合計は、全上層木では、除伐A・B区の上層育成木とほぼ同じで、上層育成木では、除伐A・B区の上層育成木の0.8倍前後であった。無施業区において、全上層木に占める育成木の割合は、2001年は本数密度で74%、胸高断面積合計で78%、2005年は本数密度で83%、胸高断面積合計で82%であった。また、無施業区における2001年から2005年までの断面積成長量は、全上層木では $4.0\text{m}^2/\text{ha}$ 、上層育成木では $4.6\text{m}^2/\text{ha}$ であった。

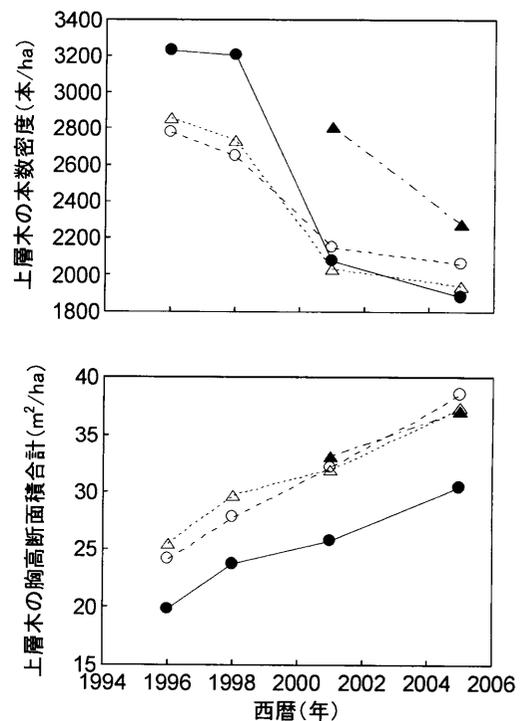


図-6.7 上層木の本数密度、胸高断面積合計の変化

○は除伐A区の育成木、△は除伐B区の育成木、●は無施業区の育成木、▲(2001～2005年)は無施業区の上層木を示す。上層木は、各調査年における上層木である。

表-6.2 2005年における上層木の概要

		本数密度 (本/ha)	胸高直径 ¹ (cm)	樹高 ¹ (m)	胸高断面積合計 (m ² /ha)
除伐A区	スギ ²	625	21.0±5.4	13.8±2.3	22.9
	広葉樹 ²	1434	11.0±4.2	10.3±1.8	15.6
	全上層木	2059			38.5
除伐B区	スギ ²	435	22.3±4.8	14.3±1.7	17.7
	広葉樹	1553	12.3±3.9	11.4±1.4	20.2
	(育成木)	(1506)	(12.3±3.9)	(11.4±1.4)	(19.7)
	全上層木	1988			37.9
	(育成木)	(1941)			(37.4)
無施業区	スギ ²	281	18.1±3.5	11.61±1.4	7.4
	広葉樹	1994	12.6±5.5	10.4±2.1	29.7
	(育成木)	(1601)	(12.5±5.1)	(10.4±1.9)	(23.0)
	全上層木	2275			37.1
	(育成木)	(1882)			(30.4)

1: 平均値±標準偏差で示す。

2: 上層木は全て育成木である。

表-6.2に、2005年における上層木の概要を示す。スギ上層木は、全試験区で、すべて育成木であった。広葉樹上層木は、除伐B区と無施業区に、非育成木が存在した。除伐B区において、全上層木に対する非育成木の割合は、本数密度で2%、胸高断面積合計で1%と、小さかった。除伐B区における上層の非育成木は、ホオノキとサワグルミであった。無施業区における上層の非育成木は、バッコヤナギ、ウリハダカエデ、ケヤマハンノキ、クリ、イタヤカエデ、ミズメ、コハウチワカエデであった。

6.4. 考察

6.4.1. 育成木の直径成長に対する除伐の影響

育成木の期首胸高直径と胸高直径成長量には、相関がみられた(図-6.5)。すなわち、育成木の胸高直径成長量はサイズ依存的であった。同様の結果が、石田ら(2002)の行った除伐試験でも示されている。胸高直径成長のサイズ依存性を考慮した共分散分析の結果、スギ育成木の胸高直径成長量は除伐Aが除伐B区より大きく、広葉樹育成木の胸高直径成長量は除伐A区が除伐B区と無施業区より大きかった。したがって、育成木の胸高直径成長は、除伐A区が最も良かったといえる。

前述の石田ら(2002)は、ウダイカンバなどが混交するスギ不成績造林地において、本数率で49%の除伐(除伐A区と同じ除伐方法)を行い、除伐から4年後の結果として、胸高直径

成長量の期首胸高直径への回帰直線の傾きが、無施業区より除伐区で大きく、除伐により林木の直径成長が促進されたと報告している。本試験では、回帰直線の傾きは試験区間で差がなく、この点で両者の結果は異なった。横井（2004）は、クリ、ウダイカンバ、ホオノキが優占する広葉樹林で、上層木の本数率で42～45%の除伐（除伐B区と同じ除伐方法）を行い、除伐後6年間の胸高直径成長量が無施業区より除伐区で大きかったことを示した。本試験の本数除伐率は、除伐A区が64%、除伐B区が24%であった（表-6.1）。除伐B区で育成木の胸高直径成長量が大きくなかったのは、除伐率が低かったためと考えられる。

6.4.2. 林分の胸高断面積成長量および林分構造に対する除伐の影響

胸高直径2cm以上の全林木で計算した胸高断面積合計では、1990年除伐後から2005年までの断面積成長量は、除伐A区と除伐B区が同じで、無施業区はそれらの0.98倍であり、除伐A・B区と無施業区の差はわずかであった（図-6.6）。上層木だけで計算した胸高断面積合計、およびその変化のしかたも、3試験区に大きな差はみられなかった（表-6.2, 図-6.7）。したがって、胸高断面積合計でみた15年間の林分の成長は、どの試験区もほぼ同じであったと考えることができる。胸高断面積合計での除伐率は、除伐A区が33%、除伐B区が24%であったが、除伐による林木の減少は、その後の林分の胸高断面積成長量に影響しなかったといえる。

除伐後15年が経過した2005年において、除伐A区は、本数率で林木（胸高直径2cm以上）の94%が育成木であり（図-6.3, 6.4）、上層木はすべて育成木であった（表-6.2）。除伐B区では、林木の36%が非育成木であったが、非育成木の多くはサイズが小さく（図-6.3, 6.4）、上層木で見ると98%が育成木であった（表-6.2）。すなわち、2005年において、除伐A・B区は育成木が主体の森林であった。除伐A・B区で、上層育成木の本数密度は徐々に減少しており（図-6.7）、これらの林分は、育成木どうしが競合しながら発達していると考えられる。

一方、2005年の無施業区は、林木の53%、上層木の17%が非育成木であった（図-6.3, 6.4, 6.7, 表-6.2）。無施業区では、上層木の本数密度が2001年から2005年にかけて大きく減少したが、このとき、上層木中の育成木の本数割合は74%から83%に増加した。このことは、上層木の

減少率が、非育成木が育成木より大きいことを示している。2001年と2005年の上層の非育成木を比較すると、ウワミズザクラとウリハダカエデの本数が大きく減少し、クリやケヤマハンノキなどは本数が減らなかった。これらのことから、無施業区では、林木間の競争により上層木の本数密度が減少し、その減少率が非育成木で大きく、このため、育成木の本数割合が徐々に大きくなってきたと考えられる。

6.4.3. スギ不成績造林地での除伐の有効性

除伐の目的は、林分蓄積に対する、種組成や成長量、質の改善である (Smith, 1986 ; Matthews, 1989)。優勢な林木ほどその後の生存率が高い (Ward and Stephens, 1996) ので、将来、収穫の対象となる林木は、現在の上層木であると考えてよい。このことから、上層木に注目して、除伐 A・B 区における除伐効果を検討する。

除伐から 15 年が経過した時点で、除伐 A 区は上層木のすべてが育成木、除伐 B 区は上層木のほとんどが育成木であった。これに対し無施業区は、除伐後 15 年目において、上層木の 18% (胸高断面積割合) が非育成木であった。無施業区の上層木における非育成木の割合は、ウワミズザクラやウリハダカエデなどの本数が大きく減少することで、徐々に小さくなる傾向を示した。しかし、上層の非育成木にクリやケヤマハンノキなど育成木と同じ樹種が存在することから、今後、非育成木の割合が大きく減少する可能性は低いと考えられる。これらのことから、林分の種組成と質の改善に対して、除伐は有効な作業であったと結論できる。

一方、林分の胸高断面積成長量をみると、全上層木の胸高断面積合計およびその変化は、除伐 A・B 区と無施業区で大きく異ならなかった。このことから、林分全体の成長量に対して、除伐は大きな影響を与えなかった。また、育成木を単木でみたときの胸高直径成長量は、除伐 A 区が除伐 B 区 (スギおよび広葉樹)、無施業区 (広葉樹) に比べて、良好な成長を示した。したがって、単木の成長においては、とくに除伐 A 区に除伐効果があった。

第7章 総合考察—積雪地帯におけるスギ人工林の施業—

積雪地帯におけるスギ人工林の不成績造林地問題に対して、経済価値の高い森林を育成する技術を、造林学的な見地から明らかにするという目的に対して、①積雪地帯におけるスギ人工林の成林状況に関する検討を行い（第3章）、②スギ不成績造林地の実態を把握し、その施業方法を分析した（第4章～第6章）。本章では、これらの結果をもとに、積雪地帯におけるスギ人工林施業を適正に実施するため、積雪深を基準としたスギ人工林の造林限界および積雪地帯における既存のスギ人工林の施業方法について考察する。

7.1. スギ人工林の造林限界

岐阜県の宮・庄川森林計画区内のスギ造林地には、スギ木材生産林の成林が見込めない不成績造林地が存在することが明らかになり（第3章 3.2, 第4章 4.1）、その面積はスギ人工林の27%になることが推定された（第4章 4.5）。スギ不成績造林地が生じた根本的な原因は、適地判定を誤り、スギが健全に生育できる限界を超えたところまで人工林が拡大されたことである（前田ら, 1985；小野寺, 1990）。適地判定を誤った理由として、初期のスギの造林地帯区分（第1章 1.2）で設定された造林限界が不適切であった可能性（前田ら, 1985）が指摘されている。本節では、最深積雪深や標高などとスギ人工林の成林度の関係（第3章, 3.2；第4章 4.5）から、スギ人工林の造林限界を再検討する。

最深積雪深 1.0 ～ 3.0m の地域で、スギ人工林の成林状況を検証した結果、スギ木材生産林の成林が確実なのは最深積雪深 1.5m までの地域であり、最深積雪深 2.5m 以上の地域では木材生産林の成林が期待できないことが判明した（第3章 3.2）。この結果は、最深積雪深 2.5m 以上では、木材生産林の造成が困難であるとする見解（山口, 1978；平, 1987；小野寺, 1988；前田, 1999）と一致する。スギ木材生産林の造成が最深積雪深 4.0m まで可能であるとした、初期の造林地帯区分（秋田営林局造林推進委員会, 1961；井沼・高橋, 1964 など）は不適切であったことがわかる。

森林簿データによる成林度の推定では、標高 1,200m 以上で、スギ木材生産林の成立が困難

であることが示唆された（第4章4.5）。

これらのことから、中部地方のスギ木材生産林では、標高1,200m以上または最深積雪深2.5m以上を造林が困難な地域、標高1,200m未満においては、最深積雪深1.5～2.5mを地形条件によって造林が可能な地域、最深積雪深1.5m未満を造林可能な地域と分けるのが妥当である（表-7.1）。

スギ不成績造林地では、スギ造林木が生育する場所と生育しない場所がモザイク状に分布する（小谷，1990a；前田，1992；箕口，1994）ことが知られている。これは、微地形の差が原因で生じた現象であると考えられる。微地形の違いを十分に考慮しないと、積雪地域の大面積一斉造林は危険であるといえる。本研究でも、10mのオーダーで生じる微地形単位によって、スギ人工林の成林度A（スギ木材生産林が成林する可能性を示し、0～100の値をとる）は、最低レベルの0～10あるいは最高レベルの90～100の両極に偏っていた（第3章3.2）。この結果は、スギ木材生産林が成立するかしないかは、微地形によって強い影響を受けることを示唆している。とくに、最深積雪深1.5～2.5mの地域では、成林度Aの高い調査地と低い調査地の両方が出現した。このことは、微地形に対応した小面積を単位にして、成林の可能性を判定する必要があることを示

している。成林度Aには、微地形要素として、斜面の傾斜角と縦断面の形状が強く影響していた（第3章3.2）。また、斜面傾斜角の根元曲がりへの影響は最深積雪深が大きくなるほど大きかった（第3章3.1）。最深積雪深1.5～2.5mの地域では、斜面の傾斜角と縦断面の形状の組み合わせによ

表-7.1 スギ木材生産林の造林限界¹

■ 標高1,200m以上または最深積雪深2.5m以上：木材生産林の成林は困難

■ 標高1,200m未満

■ 最深積雪深2.0～2.5m：木材生産林の成林は条件によって可能

傾斜(度)	斜面の縦断面の形状		
	凸	平	凹
0～9	○	×	×
10～21	○	○	×
22～33	×	×	×
34～	×	×	×

■ 最深積雪深1.5～2.0m：木材生産林の成林は条件によって可能

傾斜(度)	斜面の縦断面の形状		
	凸	平	凹
0～9	○	○	○
10～21	○	○	○
22～33	○	×	×
34～	×	×	×

■ 最深積雪深1.5m未満：木材生産林の成林が可能

1：必要に応じた雪起こしの実施を前提とした造林限界である。

って、造林の可否を示すことができる。

スギ造林木の根元曲がりを軽減するには雪起こしが有効であり（平，1987），この作業により根元曲がりが小さくなれば，スギ人工林の経済価値は向上する。本章で示す造林限界（表7.1）は，雪起こしの実施を前提としたものである。林業労働力の不足や林業の省力化への指向から，今後の造林では，雪起こしが実行されることが期待できない場合が多い。この点から考えても，今後のスギ木材生産林の造林限界は，最深積雪深 1.5m まで下げて考えた方が安全（藤森，1991）である。

7.2. 積雪地帯におけるスギ人工林の施業指針と不成績造林地の改良

スギ不成績造林地では，スギ木材生産林としての機能は期待できない（第4章4.1）。このため，スギ不成績造林地では，目標をスギ木材生産林から別に改め，施業方法も従来のスギ人工林施業から，新しい施業に転換することが必要である。また，今後，不成績化が危惧されるスギ造林地に対しても，新しい目標を設定した施業方法の検討が必要である。

スギ不成績造林地では，スギ造林木の消失と成長不良のために，スギのみで林冠閉鎖がされず，広葉樹が混交していた。調査地の94%に，高木性広葉樹が存在した（第4章4.1）。また，それぞれの調査地で，高木性広葉樹の優占度が高かった（第4章4.4）。多くのスギ不成績造林地では，目標とする林型を，スギ・広葉樹混交林もしくは広葉樹林に設定することができる（第4章4.1，4.4）。木材生産を期待できるかどうかは，スギ造林木の幹の形状，および広葉樹の樹種と幹の形状による。木材生産を期待できない場合は，土砂流出防備など環境保全を目的とする高木林を目標とせざるを得ない（第4章4.1）。実際に，スギ不成績造林地が時間とともに，スギ・広葉樹混交林に推移し，木材生産林として評価できる林分ができた事例や，環境保全機能に問題のない林分ができた事例がある（第5章）。

スギ不成績造林地において，高木性広葉樹の樹高成長速度は，優勢なスギ造林木と同じか，それよりも大きい（第4章4.3）。従来の除伐作業では，スギ造林木のみを残し，広葉樹はすべて除去する。この除伐は，それ以後に生じるスギと広葉樹の優勢度の差に強く影響する（第4章4.3）。また，除伐を行うと，ミズメやウダイカンバなど萌芽能力の低い樹種は造林地から消

失する（長谷川，1991，1998）。したがって，広葉樹をすべて除伐する方法は，スギ不成績造林地の経済価値をかえって低下させる。

本研究では，広葉樹が混交するスギ不成績造林地で，幹の形状が良いスギ造林木と市場価値の高い広葉樹種を育成する除伐試験を行った（第6章）。この除伐は，スギ造林木のみを育成を目的とした従来の除伐とは，目的と方法が異なる。除伐後15年が経過した時点で，除伐区は，育成対象とした林木（育成木）が上層木のほとんどを占めた。これに対し，無施業区は，育成木が上層木の82%（胸高断面積合計）を占めた。このことから，1）高木性広葉樹が混交するスギ不成績造林地の場合，放置しても優良な林木の優占度が高くなること，2）除伐により，林分の経済価値をさらに高められることがわかった。

以上の結果から，スギ不成績造林地において，除伐という作業は，将来の林型を決定づけることで，林分の経済価値に強く影響する作業であるといえる。除伐を適切に行うためには，スギが植栽されてからの経過年数ごとに，造林地の不成績化の程度や将来の可能性を診断し，その診断に応じて林型の方向付けを行うことが必要である（図-7.1）。なお，この診断方法と診断結果に基づく除伐方法は，前世代が広葉樹林であったスギ造林地における調査結果から導き出されたものであることから，同様の拡大造林地のみにも適用できる指針である。

一般に，人工林での除伐は，下刈りを終えてから3～5年後に行われる（加藤，1969）。研究対象地域のスギ造林地では，下刈りは通常6～7年間行われ，林齢10年生前後に除伐が行われる。最初の診断は，除伐時に，スギによる成林の可能性を診断することにある〔診断1〕。その判定基準は，スギ健全木（成長が阻害されるような雪害を受けていないもの）の本数密度が1,500本/ha以上で，スギ上層木の平均樹高が4m以上とする。この本数密度は，除伐時に，収穫時の立木本数（500本/ha程度）の3倍の本数があれば，スギ林として管理できると考えたことによる。また平均樹高は，多雪地帯のスギ人工林の地位級5における，10年生時の樹高4.2m（岐阜県林政部，1983）にあわせた。この基準を満足する造林地は，スギを目的樹種とする通常の除伐を実施する。ただし，ウダイカンバなど除伐に弱い樹種が侵入している場合には，それを目的樹種に加えるかを判断しなければならない（第4章4.3；長谷川，1998）。

診断1の成立条件を満たさない造林地は，不成績化が進むと考えられる。その場合，スギを

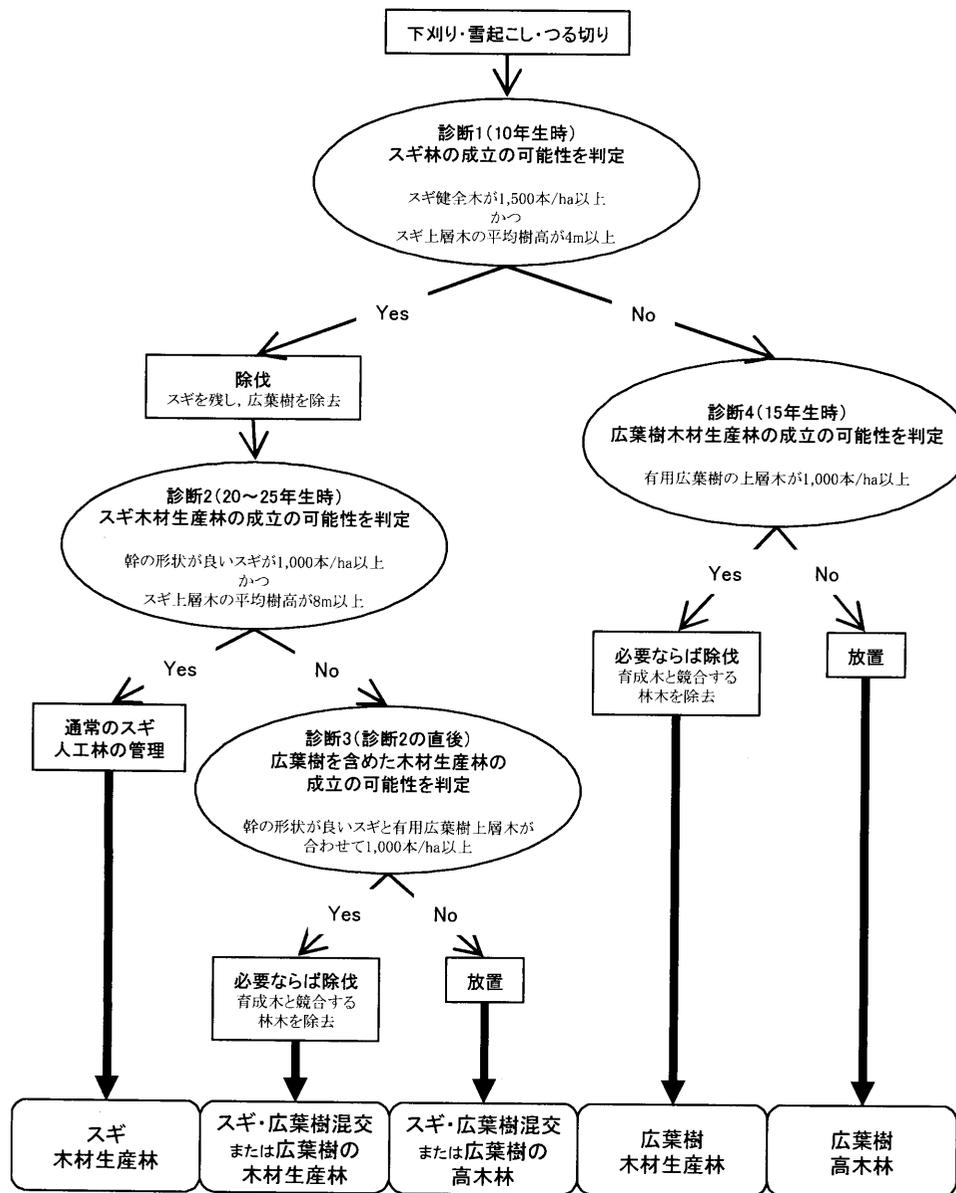


図-7.1 積雪地帯におけるスギ造林地の診断

目的樹種とする通常の除伐を行うと、木材生産機能も環境保全機能も期待できない森林ができる可能性が大きい。

つぎに、診断1で除伐が必要と判定した造林地を対象に、林齢20～25年生時に、スギ木材生産林として成立が可能かどうかを診断する〔診断2〕。20～25年の林齢に達したスギ人工林では、すでに根元曲がり固定している（佐藤・今野，1965；山口・戸田，1980）。診断2を通過する判定基準は、幹の形状が良いスギの本数密度1,000本/ha以上、かつスギ上層木の平

均樹高 8m 以上とした。この本数密度は、多雪地帯の 20 年生のスギ人工林の標準的な本数密度（岐阜県林政部，1983）の 50%であり、収穫時の 2 倍の本数である。8m 以上という平均樹高は、多雪地帯のスギ人工林（地位級 5）で、20 年生時の樹高が 7.8m とした岐阜県林政部（1983）の基準と一致する。診断する造林地がこの基準を満たす場合、スギ木材生産林を目標とする通常のスギ人工林施業を継続する。

診断 2 の基準を満たさない造林地では、広葉樹を含め、木材生産林としての成林の可能性を診断する〔診断 3〕。これらの不成績造林地は、除伐から 10 ～ 15 年経過しており、再生した高木性広葉樹の樹高が 5m 前後に達し（第 4 章 4.3）、構成樹種の生活形による階層分化も進んでいる場合が多い（第 4 章 4.2）。このため、将来の主林木となる可能性のある林木を判別することができる。広葉樹を含めた木材生産林の成林が可能とする判定基準は、経済価値の高い広葉樹（有用広葉樹）の上層木を含めて、本数密度が 1,000 本/ha 以上とする。これは、30 年生の広葉樹林における立て木の本数密度 500 本/ha（中垣・水谷，1986）の 2 倍の本数に相当する。この基準を満たすときは、スギ・広葉樹混交あるいは広葉樹の木材生産林が成林する可能性がある。必要に応じて、除伐を行い、優良木の生育を助ける。なお、診断 3 の基準を満たさない造林地は、木材生産林に誘導することが困難である。これらの造林地は、目標林型をスギ・広葉樹混交あるいは広葉樹の高木林とする。

前述の診断 1 で、スギ林が成林する可能性が低いと判定された造林地（不成績造林地）は、15 ～ 20 年生時に、広葉樹木材生産林が成林する可能性を診断する〔診断 4〕。この林齢は、下刈りを終えてから 10 ～ 15 年程度が経過した時点の意味する。診断 4 では、有用広葉樹の上層木とスギ優良木が 1,000 本/ha 以上の本数密度であるかを基準に置く。この基準を満たすときは、広葉樹木材生産林を目標林型とする。必要に応じて、除伐を行い、その林型に誘導する。この基準を満たさないときは、木材生産を期待しない広葉樹高木林を目標林型とする。

積雪地帯におけるスギ人工林の成林状況は、地形単位で異なる（本章 7.1）。診断 1 ～ 4 とそれに基づく除伐は、異なる地形単位を含む造林地全体を単位とするのではなく、同じ地形をもつ小面積（数 100m² 以内）の範囲を対象にしなければならない。

本論文では、高木性広葉樹が存在しないスギ不成績造林地の施業方法に言及することができ

なかった。このような不成績造林地は、現状では、高木林の成林が困難である。これらの不成績造林地については、環境保全的視点から、問題点を洗い直す必要があるだろう。

謝 辞

本論文をまとめるにあたり、岐阜大学応用生物科学部の小見山章教授にご指導を仰いだ。また、静岡大学農学部の方張嘉孝教授、信州大学農学部の方原曜教授、岐阜大学応用生物科学部の向井譲教授および加藤正吾助手には、貴重なご意見をいただいた。

一連の研究を開始・推進するにあたっては、宇都宮大学農学部の谷本丈夫教授（当時、農林水産省林業試験場）、山形大学農学部の小野寺弘道教授（当時、農林水産省森林総合研究所）に、ご指導をいただいた。元岐阜県寒冷地林業試験場の山口清氏には、本研究の多くの部分を共同で行うとともに、日頃の研究活動について多大なご指導をいただいた。富山県林業技術センターの方谷川幹夫氏、石川県林業試験場の小谷二郎氏、新潟大学農学部の箕口秀夫助教授、鳥取県林業試験場の前田雄一氏、山形県森林研修研究センターの小野瀬浩司氏には、数々のご意見をいただいた。元岐阜県寒冷地林業試験場の野中一男氏、水谷嘉宏氏、ならびに岐阜県森林科学研究所の方川原弘一氏、大洞智宏氏、渡邊仁志氏、茂木靖和氏には、現地調査にご協力いただいた。岐阜県森林科学研究所の方育林研究部長の方平照雄氏、同森林環境部長の方古川邦明氏、岐阜県森林科学研究所の方所長の伊藤一成氏、熊谷洋二氏、中川一氏、および同所長の奥村彰朗氏には、ご指導とご鞭撻を賜った。

以上の方々に、心から感謝を申し上げる。

引用文献

- 阿部保秀（1991）有用広葉樹の生立した人工林の取扱い．北方林業 43：270～271．
- 相浦英春（2005）斜面積雪の安定に必要な立木密度．日林誌 87：73-79．
- 相浦英春・嘉戸昭夫・長谷川幹夫（1996）ブナ林の皆伐および針葉樹の造林が行われた多雪山地における表層崩壊の発生過程．日林誌 78：398～403．
- 赤井龍男・古野東洲・真鍋逸平・上田晋之助（1989a）階層混交したスギ不成績人工林の構造と取り扱い方について．京大演報 61：71～84．
- 赤井龍男・古野東洲・真鍋逸平・上田晋之助（1990）小雪地帯における階層混交した不成績人工林の構造と取り扱い方について．京大演報 62：65～79．
- 赤井龍男・古野東州・真鍋逸平・上田晋之助・倉木良人（1989b）スギ不成績造林地の混交複層林化した林分の構造と成長．日林論 100：255～256．
- 赤井龍男・吉村健次郎・青木隆（1987）下刈りを省いた若い造林木の生長について（I）多雪地帯の広葉樹繁茂地におけるスギの生長．日林論 98：285～286．
- 秋田営林局造林推進委員会（1961）豪雪地帯の造林対策（案）．17pp，秋田営林局．※
- 安藤貴・柴田信明・金森ひろ子（1994）ウダイカンバ，スギ混交林の林分構造と成長．日林東北支誌 46：77～80．
- Dolukhanov, A. G. (1978) The timberline and the subalpine belt in the Caucasus Mountains, USSR. Arctic and Alpine Research 10：409～422．
- 遠藤文子・塚原初男・大谷博彌・渡部房生（1981）スギの致命的な雪圧害と積算雪圧との関係（I）根元曲がり被害との関係．日林東北支誌 33：42～44．
- 藤森隆郎（1991）雪に対応した森林施業．（多様な森林施業．藤森隆郎，191pp，全国林業改良普及協会，東京）．162～170．
- 藤田佳久（1997）どうしてできたか1千万ヘクタールの人工林．森林科学 19：9～14．
- 岐阜県（2000）宮・庄川地域森林計画書．176pp，岐阜県．
- 岐阜県林政部（1981）岐阜県の森林立地－立地環境に基づく施業技術体系－．190pp，岐阜県

林政部.

岐阜県林政部 (1983) スギ人工林林分材積表, 林分収穫予想表. 93pp, 岐阜県林政部.

岐阜県林政部 (1992) 広葉樹林分収穫表. 37pp, 岐阜県林政部.

羽田清五郎 (1961) 多雪地方におけるスギ造林木の根曲りについて (1) 根曲り出現率の研究.

新潟大農学報 13 : 49 ~ 56.

長谷川幹夫 (1985) 富山県におけるコナラの垂直分布. 日林中支講 33:195 ~ 198.

長谷川幹夫 (1991) スギ不成績造林地での下刈り, 除伐が広葉樹の定着に与える影響. 日林誌

73 : 375 ~ 379.

長谷川幹夫 (1992) 豪雪地のスギ不成績造林地の取扱い—侵入したウダイカンバをどうするか—.

林業技術 599 : 23 ~ 25.

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 (2000) 不成績造林地の取り扱い. (雪国の森林づくり. 豪雪地帯林業技術開発協

議会編, 189pp, 日本林業調査会, 東京). 121 ~ 156.

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.

Hirayama, K. and Sakimoto, M. (2003a) Regeneration of *Cryptomeria japonica* on a sloping

topography in a cool-temperate mixed forest in the snowy region of Japan. Can. J. For. Res. 33

: 545 ~ 551.

Hirayama, K. and Sakimoto, M. (2003b) Spatial distribution of canopy and subcanopy species along a

sloping topography in a cool-temperate conifer-hardwood forest in the snowy region of Japan.

Ecol. Res. 18 : 443 ~ 454.

Homma, K. (1997) Effects of snow pressure on growth form and life history of tree species in

Japanese beech forest. J. Veg. Sci. 8 : 781 ~ 788.

保坂良悦・北村昌美・今永正明 (1982) 豪雪急斜地におけるスギ幼齢木の雪害と微地形の関係.

- 日林論 93 : 97 ~ 98.
- 保坂良悦・塚原初男・大谷博彌・渡部房生 (1981) スギの致命的な雪圧害と積算雪圧との関係
(Ⅱ) 傾斜角のちがい. 日林東北支誌 33 : 45 ~ 46.
- 井沼正之・高橋喜平 (1964) 積雪の環境と造林. 林試東北支たより 35 : 1 ~ 4. ※
- 石田仁・山田昭仁・藤島文博 (2002) 針広混交林育成試験－初期の除伐が林木の成長と形状に及ぼした影響－. 中森研 50 : 23 ~ 26.
- 石川政幸 (1969) 多雪地帯の造林と雪. 北方林業 21 : 31 ~ 34.
- 石川政幸 (1983) 雪害. (新版スギのすべて. 全国林業改良普及協会編, 629pp, 全国林業改良普及協会, 東京). 380 ~ 395.
- 石川政幸・小野茂夫・川口利次 (1970) スギの雪害と雪の降り方について. 林試東北支年報 11 : 143 ~ 156.
- 石川政幸・小野茂夫・川口利次・渡辺成雄・大関義男 (1980) 豪雪地帯のスギの生長に及ぼす積雪の影響. 日林論 91 : 253 ~ 254.
- 石塚森吉・宇津木玄 (1995) スギ不成績造林地における針広混交林化の実態. 日林関東支論 47 : 39 ~ 40.
- Jalkanen, A. and Mattila, U. (2000) Logistic regression models for wind and snow damage in northern Finland based on the National Forest Inventory data. For. Ecol. Manage. 135 : 315 ~ 330.
- 兼平文憲 (1992) 広葉樹施業体系に関する研究 (5) 最深積雪深とミズナラ, コナラ林の分布. 青森県林試報 (平成3年度) : 10 ~ 13.
- 片岡健次郎・石川政幸 (1970) 不安定地における積雪の移動と移動圧. 日林東北支誌 22 : 94 ~ 99.
- 片岡健次郎・佐藤正平 (1959) 積雪による杉造林木の根曲について. 雪氷 4 : 111 ~ 117.
- 加藤善忠 (1969) 除伐. (造林ハンドブック. 坂口勝美・伊藤清三編, 935pp, 養賢堂, 東京). 693 ~ 695.
- 北村昌美・今永正明 (1977) 豪雪地スギ林の雪害発生条件に関する研究 (Ⅰ). 雪氷 39 : 77

～ 83.

北村四郎・村田源（1971）原色日本植物図鑑，木本編Ⅰ．453pp，保育社，大阪．

北村四郎・村田源（1979）原色日本植物図鑑，木本編Ⅱ．545pp，保育社，大阪．

清野嘉之（1991）多雪地のスギ人工林に混生する広葉樹の実態と取り扱い．日林論 102：545

～ 546.

小谷二郎（1988）多雪地帯における不成績造林地の改良に関する研究（Ⅰ）スギ造林地内で再生した広葉樹の生長パターンについて．日林論 99：297～298．

小谷二郎（1990a）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．

小谷二郎（1990b）多雪地帯における不成績造林地の改良に関する研究（Ⅲ）侵入広葉樹の優占性について．日林論 101：469～470．

小谷二郎・矢田豊（1989）多雪地帯における不成績造林地の改良に関する研究（Ⅱ）放置されたスギ造林地の林分構造および広葉樹の生育状況．日林論 100：257～258．

小島忠三郎（1966）森林の雪害と雪の気候．森林立地 7（2）：11～24．

小島忠三郎（1975）主要樹種の天然分布と気候要因との関係についての数量化理論による解析－東北地方における数樹種について－．林試研報 271：1～26．

駒澤勉（1982）数量化理論とデータ処理．292 pp，朝倉書店，東京．

小向裕明・佐藤八重治・塚原初男・大谷博彌・須藤昭二（1975）豪雪急斜地における実生スギ雪害木の発生頻度．日林東北支誌 27：68～69．

國崎貴嗣・川村かの子（2000）スギ，落葉広葉樹同齡混交林の空間分布．岩大演報 31：121～131．

Kunisaki, T. and Kunisaki, K. (2004) Stratification process for a mixed species stand of *Cryptomeria japonica* and deciduous broad-leaves in northern Japan. Bull. Iwate Univ. For. 35：1～13．

栗田稔美・瀬川幸三・井沼正之（1976）豪雪地帯におけるスギ幼齢木の樹幹形態と雪害発生との関係－植栽後22年までの経過から－．林試東北支年報 17：86～94．

栗田稔美・遠田武（1986）雪害回避を考慮した育林技術．林試東北支年報 27：99～102．

前田禎三・宮川清・谷本丈夫（1985）新潟県五味沢におけるブナ林の植生と跡地更新－スギ造

- 林地の成績とブナの天然更新の提案一. 林試研報 333 : 123 ~ 171.
- 前田雄一 (1992) 鳥取県扇ノ山におけるスギ不成績造林地の現状と有用広葉樹の動態. 森林立地 34 : 43 ~ 49.
- 前田雄一 (1999) 鳥取県における最深積雪深分布とスギ人工林の成績について. 鳥取県林試研報 37 : 9 ~ 24.
- 松田氏淑・稲部茂・加沢貫二 (1968) 造林地の雪害実態調査について (第2報) 多雪地帯の造林技術改善試験. 新潟県林試研報 13 : 51 ~ 66.
- 松井光搖 (1970) 造林地の雪の害. 54pp, 日本林業技術協会, 東京.
- Masaki, T. Ota, T. Sugita H. Oohara, H. Otani, T. Nagaike, T. and Nakamura, S. (2004) Structure and dynamics of tree population within unsuccessful conifer plantations near the Shirakami Mountains, a snowy region of Japan. For. Ecol. Manage. 194 : 389 ~ 401.
- Matthews, J. D. (1989) Silvicultural systems. 284pp, Oxford University Press, New York.
- 箕口秀夫 (1994) 豪雪地帯における植栽スギ-ブナ混交林の構造と成立過程. 雪と造林 10 : 22 ~ 28.
- 箕口秀夫 (2000) 雪国の森林-その成立過程と現在の課題一. (雪国の森林づくり. 豪雪地帯林業技術開発協議会編, 189pp, 日本林業調査会, 東京). 45 ~ 65.
- 皆川隆一・柳原昊・松野茂・勝又敏彦 (1990) 積雪地帯における広葉樹林造成, 改良技術に関する研究. 宮城県林試成報 7 : 17 ~ 33.
- 水野瑞夫 (1985) 岐阜県の植生. (日本植生誌中部. 宮脇昭編, 604pp, 至文堂, 東京). 482 ~ 485.
- 長野巖 (1966) 岐阜県の気候概説. (岐阜県の植物. 岐阜県高等学校生物教育研究会編, 407pp, 大衆書房出版部, 岐阜). 13 ~ 24.
- 中垣勇三・水谷和人 (1986) 育成天然林施業の間伐効果と施業技術に関する研究. 岐阜県寒林試研報 9 : 1 ~ 25.
- 中川一 (1987) 揖斐川, 宮庄川森林計画区の広葉樹林. 岐阜県林セ研報 15 : 1 ~ 40.
- 中川一 (1989) 岐阜県の民有広葉樹林について. 岐阜県林セ研報 17 : 1 ~ 41.

- 野々田三郎・山口清（1974a）雪害防止試験－階段造林，波線階段造林，寄せ土造林－．岐阜県寒林試研報 2：1～7.
- 野々田三郎・山口清（1974b）省力的雪起こし技術の開発に関する研究－飛騨地方における雪起こしの実態と対策－．岐阜県寒林試研報 2：8～19.
- 野表昌夫（1973）豪多雪地帯の造林技術（Ⅰ）新潟県の積雪環境と施業の実態．新潟県林試研報 16：47～69.
- 野表昌夫（1975）豪多雪地帯の造林技術（Ⅱ）スギの植栽本数と雪害．新潟県林試研報 18：89～104.
- 野表昌夫（1976）豪多雪地帯の造林技術（Ⅲ）スギの幼齢木の整枝の影響．新潟県林試研報 19：45～56.
- 野表昌夫（1980）豪多雪地帯の造林技術（Ⅵ）雪起こし作業の効果とその省力化．新潟県林試研報 23：1～18.
- 野表昌夫（1984）豪多雪地帯の造林技術（Ⅶ）雪起こしの作業方法と効果について．新潟県林試研報 26：31～41.
- 野表昌夫（1986）豪多雪地帯の造林技術（Ⅷ）スギ人工林の林分密度と雪害．新潟県林試研報 28：25～34.
- 野表昌夫（1987）積雪環境とスギ人工林の健全性について．新潟県林試研報 29：19～31.
- 野表昌夫（1988）多雪地帯の育林技術と雪害軽減効果－施業地の現状分析－．森林立地 30：20～23.
- 野表昌夫（1992）豪多雪地帯におけるスギ人工林の成林率と埋雪回数．雪氷 54：159～164.
- 野表昌夫・松田氏淑・中沢迪夫（1977）豪多雪地帯の造林技術（Ⅳ）幼齢期の施肥枝打ちと生長，雪害．新潟県林試研報 20：1～13.
- 大井次三郎（1983）新日本植物誌（北川政夫改訂）顕花編．1716pp，至文堂，東京．
- 大谷博彌・須藤昭二・塚原初男（1980）平坦地におけるスギ幼齢木の雪害の経過．日林論 91：255～256.
- 大谷博彌・山谷陸・須藤昭二・塚原初男（1990）豪雪緩斜地におけるスギの根元曲がり地形

- 要因に関する一考察. 日林東北支誌 42 : 149 ~ 150.
- 小野寺弘道 (1986) 造林地の雪害. 林試東北支年報 27 : 84 ~ 89.
- 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) 雪と造林. 81pp, 林業科学技術振興所, 東京.
- 小野瀬浩司 (1995a) 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 : 45 ~ 50.
- 小野瀬浩司 (1995b) スギ不成績造林地の拡大防止と改良施業 (II) スギ不成績造林地の改良のための基礎試験. 山形県林試研報 25 : 51 ~ 56.
- 大原偉樹・栗田稔美 (1993) スギ造林地に由来する針広混交林の階層解析. 日林東北支誌 45 : 119 ~ 120.
- 大原偉樹・小野寺弘道 (1988) 豪雪地帯の造林地における広葉樹の侵入実態. 日林論 99 : 299 ~ 300.
- 大澤篤弘・安藤信・中根勇雄・登尾久嗣・川那辺三郎 (2001) スギが混交する若齢天然生林の保育技術 (I) 除伐後 16 年間の林分構造の推移. 森林応用研究 10 : 51 ~ 54.
- 大住克博・桜井尚武・森麻須夫・斎藤勝郎 (1986) ウダイカンバ二次林の更新過程について (II) 若齢林の林分構造と生長経過. 日林論 97 : 323 ~ 324.
- Päätaalo, M-L. (2000) Risk of snow damage in unmanaged and managed stands of Scots pine, Norway spruce and birch. Scand. J. For. Res. 15 : 530 ~ 541.
- 斎藤定雄・北村昌美・渡部房生・佐藤八重治・上野清隆 (1969) スギ林分内の積雪深と地形要因との関係. 日林東北支誌 21 : 56 ~ 58.
- 阪上俊郎 (1984) ブナ林伐採跡地の更新 (I) スギ不成績造林地に成立したウダイカンバ林について. 日林中支講 32 : 155 ~ 158.
- 佐野公樹 (1992) 飛騨地域における木材市場の実態調査 (II) 高山市内の木材市場における広葉樹素材の取扱いについて. 岐阜県寒林試研報 12 : 59 ~ 101.
- 佐藤啓祐 (1971) 雪害防止試験. 山形県林指研報 1 : 165 ~ 206.
- 佐藤啓祐 (1974) 積雪によるスギの根元曲り形成に関する研究 (I) 蔵王山系北部の多雪地に

- おけるスギ造林木の根元曲りの形成過程. 山形県林試研報 4 : 67 ~ 78.
- 佐藤啓祐 (1980a) 裏日本多雪地の積雪環境と森林雪害. 森林立地 21 : 10 ~ 15.
- 佐藤啓祐 (1980b) 造林木の雪害防止法の再検討 (II) 多雪地帯におけるスギ造林木の雪起こしの効果. 山形県林試研報 11 : 29 ~ 35.
- 佐藤啓祐 (1981) 雪害発生の動態からみた多雪地におけるスギ林の保育形式に関する二, 三の考察. 山形県林試研報 12 : 97 ~ 107.
- 佐藤啓祐 (1984) 造林木の雪害防止法の再検討 (III) 斉一な斜面における雪起こしの結束順序と作業経路. 山形県林試研報 14 : 27 ~ 34.
- 佐藤啓祐 (1986) 多, 豪雪地帯におけるスギ人工林の健全性推進について. 日林東北支誌 38 : 170 ~ 171.
- 佐藤啓祐 (1987) 山形県の積雪環境に関する研究 (I) 年最深積雪と年根雪日数の推定法. 山形県林試研報 17 : 1 ~ 22.
- 佐藤啓祐 (1988) 豪雪地帯における実生スギ林分の利用率の推定方法. 山形県林試研報 18 : 61 ~ 105.
- 佐藤啓祐 (1990) 豪雪地帯におけるスギ不良造林地の改良に関する研究 (I) スギ不良造林地の積雪環境と林分構造. 山形県林試研報 19 : 63 ~ 77.
- 佐藤啓祐・今野敏雄 (1965) 多雪地帯の造林技術改善試験. 山形県林指報 7 : 183 ~ 216.
- 四手井綱英 (1954) 雪圧による林木の雪害. 林試研報 73 : 1 ~ 89.
- 四手井綱英・高橋喜平・塩田勇 (1950) 幼齡林の雪害. 林試集報 58 : 1 ~ 24.
- Simpson, E. H. (1949) Measurement of diversity. Nature 163 : 688. ※
- Smith, D. M. (1986) The practice of silviculture, 8th edn. 527pp, John Wiley & Son, New York.
- ※
- 鈴木千秋・富樫誠 (1993) 豪雪地帯におけるスギ不成績造林地の実態 (I) 斜面方位と施業が異なる林分のスギの生育. 日林東北支誌 45 : 149 ~ 150.
- 鈴木千秋・富樫誠・荒井賛 (1993) 降積雪環境区分と耐雪性森林の育成技術. 福島県林試研報 25 : 1 ~ 18.

- 平英彰 (1984) 雪害の分類 (雪に強い森林の育て方. 豪雪地帯林業技術開発協議会編, 170pp, 日本林業調査会, 東京). 41.
- 平英彰 (1987) スギ根元曲りの形成機構と制御方法に関する研究. 富山県林試研報 12 : 1 ~ 80.
- 高原尚人・北島瑞穂・今井辰雄 (1995) 積雪地帯における不成績造林地の改良技術 (I) 除伐効果の検討. 日林東北支誌 47 : 63 ~ 64.
- 高橋啓二・高橋亀久松 (1970) 豪雪地帯におけるスギ人工林の雪圧害と地形 (1). 雪氷 32 : 30 ~ 36.
- 高橋喜平 (1966) 積雪の不安定地について. 林試東北支場たより 58 : 1 ~ 4.
- 高橋喜平・片岡健次郎・佐藤正平 (1968) 立木に加わる雪圧 (第1報). 林試研報 210 : 155 ~ 176.
- 高橋教夫・野呂忠幸 (1990) ブナノキ二次林の成長経過 (III) 豪雪地スギ植栽地に侵入した広葉樹について. 日林論 101 : 227 ~ 228.
- 竹ノ下純一郎・中垣勇三 (1984) 岐阜県北部のヒノキ人工造林限界に関する試験 (I) 飛騨地域におけるヒノキ造林の適地域. 岐阜県寒林試研報 7 : 1 ~ 8.
- 田中豊・垂水共之 (1995) 数量化理論 (1) 数量化 I 類. (Windows 版統計解析ハンドブック. 多変量解析. 田中豊・垂水共之編, 240pp, 共立出版, 東京). 152 ~ 159.
- 戸田清佐 (1993) 有用広葉樹林の育成技術に関する研究 (II) 飛騨山地における林型区分とその立地環境. 日林中支論 41 : 71 ~ 74.
- 戸田清佐・山口清 (1980) スギの耐雪性育種に関する研究 (I) スギ在来品種の耐雪性と根系について. 岐阜県寒林試研報 4 : 1 ~ 19.
- 塚原初男・大谷博彌・須藤昭二 (1975) 豪雪急斜地における実生スギ造林木の根元曲り. 山形農林学会報 32 : 21 ~ 30.
- 塚原初男・大谷博彌・渡辺房生 (1981) 雪圧と実生スギの根元曲がりとの関係 (II) 日林東北支誌 33 : 39 ~ 41.
- 牛丸周太郎 (1966) 岐阜県の地形, 地質概説. (岐阜県の植物. 岐阜県高等学校生物教育研究会編, 407pp, 大衆書房出版部, 岐阜). 1 ~ 11.

- Ward, J. S. and Stephens, G. S. (1996) Influence of crown class on survival and development of *Betula lenta* in Connecticut, U. S. A.. Can. J. For. Res. 26 : 277 ~ 288.
- Whittaker, R.H. (1952) A study of summer foliage insect communities in the Great Smoky Mountains. Ecol. Monogr. 22 : 1 ~ 44. ※
- 山口清 (1978) 飛騨地方における積雪環境と林業技術. みどり 30(11,12) : 8 ~ 10.
- 山口清・戸田清佐 (1980) スギの根曲りの発生とその固定に関する研究—根曲りの発生と固定期について—. 岐阜県寒林試研報 4 : 20 ~ 37.
- 山口清・戸田清佐・野々田三郎 (1978) 岐阜県飛騨地方における積雪環境について. 岐阜県寒林試研報 3 : 1 ~ 23.
- 山谷睦・塚原初男 (1993) 豪雪地における局所的斜面形とスギの生育. 日林誌 75 : 303 ~ 312.
- 山谷睦・塚原初男 (1996) 局所的斜面形による斜面雪圧の違い. 雪氷 58 : 463 ~ 468.
- 矢野進治・榎谷金治 (1989) 積雪地帯における広葉樹林の造成, 改良技術に関する研究 (II) 城崎郡日高町万劫地内の一森林の現況. 兵庫県林試研報 36 : 35 ~ 58.
- 矢野進治・吉野豊・榎谷金治 (1988) 積雪地帯における広葉樹林の造成, 改良技術に関する研究 (I) 養父郡関宮町鶉縄地内の一小流域の森林の現況. 兵庫県林試研報 35 : 111 ~ 126.
- 横井秀一 (2000) 不成績造林地の現状と問題点. (雪国の森林づくり. 豪雪地帯林業技術開発協議会編, 189pp, 日本林業調査会, 東京). 89 ~ 119.
- 横井秀一 (2003) 雪圧害に起因するスギ不成績造林地の森林簿による面積の推定. 中森研 51 : 29 ~ 32.
- 横井秀一 (2004) 除伐後 6 年を経過した落葉広葉樹林における除伐の効果. 岐阜県森林研研報 33 : 1 ~ 6.
- 横井秀一 (2005a) スギ人工林に由来するスギ, 広葉樹混交林の林分構造とスギ不成績造林地の目標林型としての評価. 岐阜県森林研研報 34 : 17 ~ 21.
- 横井秀一 (2005b) 広葉樹が混交するスギ不成績造林地における広葉樹の種組成. 岐阜県森林研研報 34 : 23 ~ 26.
- 横井秀一・谷口好文 (1989) 多雪地帯におけるカラマツ不成績造林地の現況. 侵入した広葉樹

の種構成と林分構造. 日林論 100 : 259 ~ 260.

横井秀一・谷口好文・山口清 (1990) 岐阜県万波山地のカラマツ不成績造林地の現況と混交する広葉樹の実態. 岐阜県寒林試研報 11 : 1 ~ 15.

横井秀一・山口清 (1992) 雪害により不成績地化したスギ造林地の現況. 日林中支論 40 : 63 ~ 64.

横井秀一・山口清 (1993) スギの根元曲りの大きさと立地環境要因との関係. 日林論 104 : 339 ~ 342.

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り扱い—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.

横井秀一・山口清 (2004) 豪雪地帯のスギ人工林に由来する壮齢スギ, ミズナラ混交林の林分構造と成立過程. 岐阜県森林研研報 33 : 33 ~ 38.

吉村健次郎・真鍋逸平・赤井龍男・有光一登 (1980) 尾鷲地方ヒノキ林の保育過程における林地保全 (II) 表層土の変化. 日林論 91 : 305 ~ 306.

※は直接参照できなかった文献を示す。

要 旨

積雪地帯では、雪圧害が原因で生じたスギ不成績造林地が問題となっている。本研究は、スギ不成績造林地の経済価値をより高くする方策を、造林学的見地から構築する目的で行った。研究対象地域は、岐阜県の日本海側流域である。

スギ人工林の成林状況に対し、最も強く影響した立地要因は最深積雪深で、次いで、斜面傾斜角と斜面縦断面の形状の影響力が強かった。最深積雪深 1.0 ～ 1.5m の地域では、ほとんどの調査地が木材生産林として成林すると考えられた。最深積雪深 1.5 ～ 2.5m の地域では、木材生産林として成林する調査地と成林しない調査地（不成績造林地）が存在した。この地域では、斜面傾斜角や斜面縦断面の形状が成林に影響すると考えられた。最深積雪深 2.5 ～ 3.0m の地域では、多くの調査地が木材生産林として成林しないと考えられた。また、最深積雪深 2.0 ～ 3.0m の地域では、スギ高木林としての成林すら期待できない調査地が存在した。

スギ不成績造林地では、スギ造林木は本数密度が低く、樹高成長が不良であった。スギ造林木には、雪圧害特有の被害形態がみられ、樹幹の形状は不良であった。一方、調査地のすべてに、天然更新した広葉樹が混交していた。広葉樹の本数密度は、スギ上層木の本数密度が高い調査地で低く、下刈りや除伐からの経過年数が長い調査地で高かった。30 %以上の頻度で出現した高木性広葉樹は、8 種であった。スギ不成績造林地では、将来の目標林型をスギ・広葉樹混交林あるいは広葉樹林とするのが適当であると考えられた。

スギ不成績造林地の典型例について、林分構造を解析した。スギ造林木の樹高階分布は緩やかな 1 山型を示し、広葉樹全体の樹高階分布は L 字型であった。相対的に、高木性広葉樹の樹高は高く、低木性広葉樹の樹高は低かった。この調査地は、生活形による階層分化が進みつつあり、スギ・広葉樹混交林として発達すると考えられた。

スギ不成績造林地の林分構造は、スギ植栽後の保育過程の影響を強く受けていた。スギ植栽後に保育作業が行われなかった調査地および下刈りのみが行われた調査地では、上層で、スギと広葉樹が混交していた。除伐が行われた調査地では、広葉樹はスギ上層木より樹高が低かった。高木性広葉樹の樹高成長速度は、スギ上層木と同程度か、それより大きかった。この関係

を用いて、スギ植栽後の保育過程を違えた場合の、スギと広葉樹の樹高成長モデルを示した。モデルから、広葉樹の除伐は、それ以降の森林の発達を阻害する要因になることが示唆された。

つぎに、スギ造林に由来する40～69年生のスギ・広葉樹混交林について、林分構造と成立過程を解析した。全8調査地のうち7調査地で、上層木にミズナラ、クリ、ホオノキ、ミズキなど市場価値の高い広葉樹が生育していた。広葉樹上層木とスギ上層木は、幹の形状が良好な林木が多かった。また、林分材積は、同齢のスギ人工林に劣るものではなく、同齢の広葉樹林より大きかった。これらは、木材生産機能を発揮できる森林であり、木材生産機能を重視したときの不成績造林地の目標林型になると考えられた。残る1調査地は、市場価値のやや低いケヤマハンノキが優占し、林木の幹の形状も不良であった。木材生産機能は低いが、樹高20mに達する高木林として成林していることから、環境保全機能を期待した場合の目標林型であると考えられた。

広葉樹が混交するスギ不成績造林地を木材生産林へ改良する方法を検討するため、除伐試験を行った。A区では、育成の対象とする林木（育成木とする）以外をすべて除伐した。B区では、育成木と樹冠が競合する林木のみを除伐した。C区では、育成木の選木は行ったが、除伐は行わなかった。除伐後15年目において、上層木に占める育成木の胸高断面積割合は、A区は100%、B区は99%、C区は82%であった。育成木の胸高直径成長量は、A区がB区やC区より大きかった。林分全体の胸高断面積成長量に、除伐の影響はみられなかった。不成績造林地での除伐は、樹種組成と林分の質を改善すると考えられた。

以上の結果に基づき、「最深積雪深に対するスギ人工林の造林限界」と「不成績造林地の改良を含めた積雪地帯におけるスギ人工林の施業指針」を提示した。造林限界では、スギ木材生産林の成林が、最深積雪深1.5m未満の地域では可能、最深積雪深2.5m以上の地域では困難であるとした。最深積雪深1.5～2.5mの地域では、地形条件によって成林が可能とし、その条件を斜面傾斜角と斜面縦断面の形状の組み合わせで示した。スギ人工林の施業指針は、スギが植栽されてからの経過年数ごとに、造林地の不成績化の程度や将来の可能性を診断し、その診断に応じて、除伐により林型の方向付けを行う方法を提案した。

Silvicultural Study on the Unsuccessful Plantations of *Cryptomeria japonica* in Snowy Region

Summary

In snowy regions of Japan, unsuccessful sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantations (USP) in which sugi trees are damaged by snow pressure becomes a problem. The purpose of this study is to construct measures for raising the economic value of the USP from the standpoint of silviculture. The study area is the region along the Sea of Japan in Gifu Prefecture, central Japan.

The deepest snow depth (DSD) influenced the condition of the sugi plantation most strongly, and next, the inclination and the longitudinal section of the slope affected it strongly. In the area of 1.0 - 1.5 m DSD, most of the survey stands seemed to come into the timber production forest. In the area of 2.5 - 3.0 m DSD, few stands seemed to come into the timber production forest. In the area of 1.5 - 2.5 m DSD, the inclination and the longitudinal section of the slope would affect the success of afforestation of sugi. In the area of 2.0 - 3.0 m DSD, there were stands not calculated to come into high forest.

The sugi trees planted in the USPs were low in density and in height growth. The stem form of the planted sugi trees was bad due to snow pressure damage. In all of the survey stands, on the other hand, broad-leaved trees lived. The density of the broad-leaved species was low in the stands with many canopy trees of sugi, and high in the stands in which weed cleaning or improvement cutting had not been performed for many years. Eight broad-leaved tree species appeared at a frequency of not less than 30 %. It was considered that mixed forest with sugi and broad-leaved trees was just as good as the goal type of USP.

For the typical stand of USP, the stand structure was analyzed. Tree height distribution of sugi trees was bell type, and of all of the broad-leaved species was L-type. Tree height of the broad-leaved tree species was high, and of shrub species was low, relatively. In this kind of stand,

differentiation of layers was proceeding because of the difference of the life form. It was considered that this kind of stand would develop as mixed forest with sugi and broad-leaved trees.

The stand structure of USP was affected by the tending work after the planting of sugi. In the stands in which no tending work was carried out or only weeding was performed, the broad-leaved trees grew with the sugi trees in a canopy layer. In the stands in which improvement cutting was carried out, the broad-leaved trees grew under the canopy trees of sugi. The height growth rate of the broad-leaved trees was about equal to or larger than that of the sugi trees. Using this result, the height growth model for the sugi trees and broad-leaved trees was presented. This model indicated that removal of broad-leaved trees during improvement cutting was a factor for resisting the development of forest after the cutting.

In eight 40 - 69 year old mixed forest stands with sugi and broad-leaved trees, which developed on the sugi plantations, the stand structure and the process of development of the forest were analyzed. In the seven stands, broad-leaved tree species with economic value (*Quercus mongolica* var. *grosseserrata*, *Castanea crenata*, *Magnolia obovata*, *Cornus controversa*, etc.) were growing in the canopy layer. Many of these broad-leaved trees and sugi canopy trees were fine trees in the stem form. The volume of these stands was not less than that of the sugi plantations of the same age, and larger than that of the broad-leaved forests of the same age. These forests would become the goal type for USP for expecting timber production. In the other stand, *Alnus hirsuta*, which is a species having low economic value, dominated, and most trees were bad in the stem form. In this stand, nevertheless, was high forest which reached 20 m high. This forest would become the goal forest type for expecting environmental conservation.

The improvement cutting test was carried out in order to investigate effects which improved the USP with broad-leaved trees into a timber production forest. In plot A, all of trees were cut except reserve trees. In plot B, only the trees that competed with reserve trees were cut. In plot C, no trees were cut, but reserve trees were selected. At 15 years after the cutting, the basal area rate of reserve trees in the canopy trees of plots A, B and C was 100 %, 99 % and 82 %, respectively. The stem

diameter growth of reserve trees was larger in plot A than in other plots. The growth increment of the stand basal area was almost same for each. Therefore it was considered that improvement cutting was an effective operation for improving the species composition and the quality in the USP.

From these results, the limit of sugi afforestation for the DSD and the management plan of sugi plantations in snowy regions, including the improvement of USP, were presented. In the afforestation limit, it was shown that sugi afforestation was possible in areas with less than 1.5 m DSD, and impossible in areas not less than 2.5 m DSD. In the area with 1.5 - 2.5 m DSD, it was shown that sugi afforestation was possible except on steep slopes and/or concave slopes. In the management plan, the following method was given: firstly, diagnose future possibility by the condition of planted sugi trees and mixed trees at each step after planting; secondly, orient toward the most suitable forest type according to that diagnosis by performing improvement cutting.

付表. 本研究の調査で出現した樹種とその生活形

和名 ¹	学名 ¹	生活形 ²
アオダモ	<i>Fraxinus lanuginosa</i> Koidz.	小高木
アカマツ	<i>Pinus densiflora</i> Sieb. et Zucc.	高木
アカシデ	<i>Carpinus laxiflora</i> (Sieb. et Zucc.) Blume	高木
アカミノイヌツゲ	<i>Irex sugerokii</i> Maxim. var. <i>brevipedunculata</i> (Maxim.) S. H. Hu	低木
アズキナシ	<i>Sorbus alnifolia</i> (Sieb. et Zucc.) C. Koch	高木
アワブキ	<i>Meliosma myriantha</i> Sieb. et Zucc.	高木
イタヤカエデ	<i>Acer mono</i> Maxim.	高木
イヌエンジュ	<i>Maackia amurensis</i> Rupr. et Maxim. var. <i>buergeri</i> (Maxim.) C. K. Schn.	小高木
ウダイカンバ	<i>Betula maximowicziana</i> Regel	高木
ウリカエデ	<i>Acer crataegifolium</i> Sieb. et Zucc.	低木
ウリハダカエデ	<i>Acer rufinerve</i> Sieb. et Zucc.	高木
ウワミズザクラ	<i>Prunus grayana</i> Maxim.	高木
エゴノキ	<i>Styrax japonica</i> Sieb. et Zucc.	小高木
エゾエノキ	<i>Celtis jessoensis</i> Koidz.	高木
エゾユズリハ	<i>Daphniphyllum macropodum</i> Miq. var. <i>humile</i> (Maxim.) Rosenthal	低木
オオカメノキ	<i>Viburnum furcatum</i> Blume	低木
オオバクロモジ	<i>Lindera umbellata</i> Thunb. var. <i>membranacea</i> (Maxim.) Momiyama	低木
オオヤマザクラ	<i>Prunus sargentii</i> Rehder	高木
オヒョウ	<i>Ulmus laciniata</i> (Trautv.) Mayr	高木
カラマツ	<i>Larix kaempferi</i> (Lamb.) Carr.	高木
キハダ	<i>Phellodendron amurense</i> Rupr.	高木
キブシ	<i>Stachyurus praecox</i> Sieb. et Zucc.	低木
クリ	<i>Castanea crenata</i> Sieb. et Zucc.	高木
ケヤキ	<i>Zelkova serrata</i> (Thunb.) Makino	高木
ケヤマハンノキ	<i>Alnus hirsuta</i> Turcz.	高木
コシアブラ	<i>Acanthopanax sciadophylloides</i> Franch. et Savat.	高木
コハウチワカエデ	<i>Acer sieboldianum</i> Miq.	高木
コマユミ	<i>Euonymus alatus</i> (Thunb.) Sieb. forma <i>ciliato-dentatus</i> (Franch. et Savat.) Hiyama	低木
コミネカエデ	<i>Acer micranthum</i> Sieb. et Zucc.	小高木
サワグルミ	<i>Pterocarya rhoifolia</i> Sieb. et Zucc.	高木
サワシバ	<i>Carpinus cordata</i> Blume	高木
サワフタギ	<i>Symplocos chinensis</i> (Lour.) Druce var. <i>leucocarpa</i> (Nakai) Ohwi forma <i>pilosa</i> (Nakai) Ohwi	低木
サンショウ	<i>Zanthoxylum piperitum</i> (Linn.) DC.	低木
シナノキ	<i>Tilia japonica</i> (Miq.) Simonkai	高木
シラカンバ	<i>Betula platyphylla</i> Sukatchev var. <i>japonica</i> (Miq.) Hara	高木
スギ	<i>Cryptomeria japonica</i> (Linn. fil.) D. Don	高木
タニウツギ	<i>Weigela hortensis</i> (Sieb. et Zucc.) K. Koch	低木
タムシバ	<i>Magnolia salicifolia</i> (Sieb. et Zucc.) Maxim.	小高木
タラノキ	<i>Aralia elata</i> (Miq.) Seemann	低木
ダンコウバイ	<i>Lindera obtusiloba</i> Blume	低木
チョウジザクラ	<i>Prunus apetala</i> (Sieb. et Zucc.) Franch.	小高木
ツノハシバミ	<i>Corylus sieboldiana</i> Blume	低木
ツリバナ	<i>Euonymus oxyphyllus</i> Miq.	低木
トチノキ	<i>Aesculus turbinata</i> Blume	高木
ナツツバキ	<i>Stewartia pseudo-camellia</i> Maxim.	高木

付表. 本研究の調査で出現した樹種とその生活形(つづき)

和名 ¹	学名 ¹	生活形 ²
ナナカマド	<i>Sorbus commixta</i> Hedl.	小高木
ヌルデ	<i>Rhus javanica</i> Linn., pro. p.	小高木
ノリウツギ	<i>Hydrangea paniculata</i> Siebold	低木
バイカウツギ	<i>Philadelphus satsumi</i> Sieb. ex Lindl. et Paxton	低木
ハウチワカエデ	<i>Acer japonicum</i> Thunb.	高木
ハクウンボク	<i>Styrax obassia</i> Sieb. et Zucc.	小高木
バッコヤナギ	<i>Salix bakko</i> Kimura	高木
ハリギリ	<i>Kalopanax pictus</i> (Thunb.) Nakai	高木
ヒノキ	<i>Chamaecyparis obtusa</i> (Sieb. et Zucc.) Sieb. et Zucc., apud Endl.	高木
ヒロハツリバナ	<i>Euonymus macropterus</i> Rupr.	低木
ブナ	<i>Fagus crenata</i> Blume	高木
ホオノキ	<i>Magnolia obovata</i> Thunberg	高木
マユミ	<i>Euonymus sieboldianus</i> Blume	低木
マルバマンサク	<i>Hamamelis japonica</i> Sieb. et Zucc. var. <i>obtusata</i> Matsum.	低木
ミズキ	<i>Cornus controversa</i> Hemsley	高木
ミズナラ	<i>Quercus mongolica</i> Fischer var. <i>grosseserrata</i> (Blume) Rehd. et Wils.	高木
ミズメ	<i>Betula grossa</i> Sieb. et Zucc.	高木
ミヤマイボタ	<i>Ligustrum tschonoskii</i> Decaisne	低木
ミヤマガマズミ	<i>Viburnum wrightii</i> Miq.	低木
ミヤマハハソ	<i>Meliosma tenuis</i> Maxim.	低木
ムラサキヤシオ	<i>Rhododendron albrechtii</i> Maxim.	低木
ヤチダモ	<i>Fraxinus mandshurica</i> Rupr. var. <i>japonica</i> Maxim.	高木
ヤブデマリ	<i>Viburnum plicatum</i> Thunb. var. <i>tomentosum</i> (Thunb.) Miq.	低木
ヤマウルシ	<i>Rhus trichocarpa</i> Miq.	小高木
ヤマグワ	<i>Morus bombycis</i> Koidz.	小高木
ヤマナラシ	<i>Populus sieboldii</i> Miquel	高木
ヤマボウシ	<i>Cornus kousa</i> Buerger ex Hance	小高木
ヤマモミジ	<i>Acer palmatum</i> Thunb. var. <i>matumurae</i> (Koidz.) Makino	高木
リョウブ	<i>Clethra barbinervis</i> Sieb. et Zucc.	小高木

1: 大井 (1983) による。

2: 広葉樹の生活形区分 (高木, 小高木, 低木) は, 北村・村田 (1971, 1979) および大井 (1983) を参考に, 研究対象地域における各樹種の生育のしかたを勘案して決定した。