

## 第1章 序章

### 第1節 豪多雪地帯における針葉樹人工林の雪害と森林の実態

我が国の本州は、その脊梁山脈を境にして気候が異なる太平洋側と日本海側の地域に二分される。北陸地域は、冬の気候とくに降雪と積雪の面で太平洋側と異なる地域性を持ち、富山・石川・福井県にまたがる日本海に面した広い範囲が豪多雪地帯に属す。冬季に大陸から吹く季節風が本土に直接あたる位置にあり、しかも北海道のように高緯度にはないので、重く湿った雪が降り積もる(山口 1984)。日本海側の他の豪雪地帯と比較しても、北陸地方の針葉樹人工林が受ける雪の影響は大きい。

豪雪が人工林の生育に与える影響のひとつのパターンに「幹の根元曲がり」が挙げられる。北陸地方では、根雪の沈降圧で林木の幹下部が斜面下方向に向かって湾曲し、スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) の造林木で成長停滞が頻発する。幹の根元曲がりとは、積雪深の増加とともにその曲がりの程度が大きくなる(平 1987)。とくに、最深積雪深が250cm以上に及ぶ地域では、根元曲がり頻発し、造林木の成林が危ぶまれる地域が多い(小野瀬 2000)。

豪雪で人工林の林木が被害を受けるもうひとつのパターンに「冠雪害」がある。冠雪害は、樹冠に付着する雪の荷重によって、幹折れや根返りを引き起こす現象で、立木に致命的な被害を与える。被害は、単木にとどまらず林分全体に集団的に発生する場合があります、森林の生産力の低下が生じる(松田 1984)。冠雪害は、15~30年生の比較的若齢な人工林に発生しやすく、大雪の年にあらわれる(矢野 1984)。

北陸地方を中心に、1981年の豪雪時(56豪雪)に、大規模な冠雪害を被った記録が残されている(石川県 1981, 福井県 1982, 福島県林業試験場 1982)。56豪雪時の石川県での冠雪害は、森林面積14,062haにあらわれ、被害額34億6千万円に及んだ(石川県農林水産部 1986)。これは、1991年の台風19号で倒伏した被害(森林面積2,184haで、被害額120億3千万円)に次ぐ激甚災害であった(石川県農林水産部 1992)。冠雪害は1956年、1961年、1963年、1985年、1999年にも大規模

(1,000ha以上)に発生したことが記録されている(石川県農林部林務課 1961, 1964, 石川県農林水産部 1986, 2000)。また、冠雪害は日本海側では突発的というより恒常的に生じている(矢野 1984)。以上のように、北陸地方では「幹の根元曲がり」と「冠雪害」が針葉樹人工林の育成に大きな障害となり、木材生産と森林の公益的機能が損なわれている。

我が国の人工林は、現在、特殊な経済状況下にある。スギ、ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) など針葉樹人工林の面積が1,000万haに及び、全森林面積の約40%を占めている(森林・林業白書 2001)。社会経済的要因のため、これら人工林の多くが伐期に達しているにもかかわらず収穫ができない。外材の輸入が国産材の需要を圧迫していること、国産材の価格が低下していること、林業後継者が不足していることなどが主要原因である。そのため、これらの人工林で、当初の計画より長伐期の施業を行うことが余儀なくされている(小野寺 1990)。そして、針葉樹人工林の長伐期育成化と森林の公益的機能を考慮しながら、水源地帯の森林を保全・育成することが大きな課題になる(森林・林業白書 2001)。近年、各地で異常渇水や集中豪雨が頻発し、森林を水源とする都市近郊部や農業地帯まで被害を受けたことも、そのような課題が重要性を帯びる背景となっている。

したがって、北陸地方では現代林業の低迷に強いられた人工林の長伐期化や施業の省力化、そして恒常的な雪害の存在を前提条件として、豪多雪地帯における新しい施業の規範を作成しなければ、広大な人工林の存続そのものが危ぶまれる。

従来から人工林の造成は、天然ないし天然生林との対比を意識して行われてきた。その対比は戦後に行われた「拡大造林」に最もよく表れ、生産力の低いといわれる天然生林を、生産力と経済性が高い人工林に置き換えることが提唱された。しかし、現在、北陸地方の人工林地帯の森林を維持するためには、既設の人工林の中に侵入した広葉樹を利用して、閉鎖林を仕立てることが重要であると考えられる。そのような自然誘導型の施業によって、林冠が崩壊しないような森林を作り、それを維持することが必要である。そのためには、植栽した人工林の成長や生産力のみを調べるのではなく、周辺にある天然生林との関係を含めたひ

とつての生態系の一要素として人工林が成林に至る誘導方法を考えなければならない。

本論文では、人工林に発生する雪害の中で「冠雪害」に注目して、冠雪害の発生パターンと被害木の死亡にともなうその跡地の再生過程について、生態学的な解析を行った。まず、冠雪害による林冠崩壊パターンと、それにともなう林床の光環境変化を調べた。ついで、侵入する広葉樹の生活史や成長特性を解析し、林床の光環境と広葉樹の更新や成長に関わる性質の関係を解析した。また、広葉樹の侵入パターン、再生した林分における構成樹種の群集構造を調べた。最後に、これら一連の解析した結果を基にして、冠雪害跡地に侵入した広葉樹の生態的特性と侵入パターンの関係について考察した。

## 第2節 冠雪害の発生パターンとその跡地の再生、既往の研究

豪雪地帯で不成績造林地化が進んでいることは、富山県（長谷川 1991, 1998, 阪上 1984）、岐阜県（横井・谷口 1989, 横井・山口 1992, 1993, 1998）、石川県（小谷 1988, 小谷・矢田 1989, 小谷 1990ab）の森林で調べられている。不成績造林地では、いずれも林冠の一部が欠損することにもなっており、広葉樹の侵入が生じている。

冠雪害は、樹冠に付着した雪の荷重が、それを支える幹の曲げ応力や根系支持力を上回った時に生じ、主に15~30年生で高密度林分内の樹幹形状比の高い立木に生じやすい（石井ら 1980, 1981b, 嘉戸 2001, 松田 1988, 三代 1982）。冠雪害の被害跡地を復旧する方法として、針葉樹を植栽して複層林とすることが提唱されている（松田 1984）。しかし、複層林を仕立てるには、光環境の調整、植栽木の配置、将来の伐採技術などの面で多くの問題が未解決のまま残されている。また、天然更新で侵入した広葉樹を利用して森林を再生しようという研究はまったくみられない。侵入した広葉樹を利用する場合は、冠雪害の発生パターンと規模によって、再生する林分の構造が異なる可能性を考慮する必要がある。したがって、冠雪害が発生する森林の立地条件や林分構造を明らかにし、冠雪害の面積規模や頻度など林冠の崩壊パターンを明らかにしなければならない。その上で、林冠崩壊による光環境の変化パターンや広葉樹の侵入パターンを明らかにする必要がある。

Connell (1978) が提案した中規模攪乱仮説、および天然林におけるギャップ更新パターンの研究 (Nakashizuka 1984, 中静・山本 1987, Runkle 1981, Whitmore 1982) は、林冠の攪乱頻度や規模により林床の光環境が変化し、森林の樹種構成が影響を受けることを予測している。スギ人工林の冠雪害では、標高・斜面傾斜・微地形などの立地環境や密度・形状比などの林分構造の違いによって、幹折れや根返りなど発生パターンが異なる（嘉戸ら 1992, 松田 1988）。また、地形・林齢・施業履歴により、冠雪害による林冠の攪乱規模は異なることが予想される。林冠の攪乱規模により、林床の光環境は変化する。同時に土壌水分や温度の変化をもたらす（森澤ら 1993, 中静・山本 1987, Ochiai *et al.* 1994）。こうした林内の環境変化は、侵入種の発芽・生存・成長に影響を及ぼす。とくに、光環境は林床植物にとって重要である。

一般に、天然林では、小面積のギャップが多い（たとえば、ブナ (*Fagus crenata* Blume) 林：Nakashizuka 1984；エゾマツ (*Picea jezoensis* Carr.)・トドマツ (*Abies sachalinensis* Masters) 林：山本 1984；針広混交林：渡辺・久保田 1996；カナダの温帯林：Lertzman *et al.* 1996；熱帯林：Brokaw and Scheiner 1989, Van der Meer and Bongers 1996)。また、更新した稚樹の生存に小面積のギャップが大きな影響を与えていることが指摘されている。林床植物の成長には、サンフレックのような直達光の照射も重要である（石田 2000）。ギャップの大きさや方位によって、林床の光環境は異なる（Canham 1988, Poulson and Platt 1989, Yoshida *et al.* 1998）。

針葉樹林へ広葉樹が侵入し混交するパターンに関して、天然林では、亜高山帯のオオシラビソ (*Abies mariesii* Masters)・コメツガ (*Tsuga diversifolia* Masters) の風倒跡地にダケカンバ (*Betula ermanii* Cham.) が侵入することが報告されている（紙谷・丸山 1978, 小見山・大西 1981, Yamamoto 1993a）。この亜高山帯では、広葉樹の侵入によって、針葉樹林・針広混交林・広葉樹林それぞれ様々な発達段階のパッチがモザイク的構造を呈している（田中 1986）。冷温帯のヒノキ林やサワラ (*Chamaecyparis pisifera* Endl.) 林では、ミズナラ (*Quercus crispula*

Blume) やホオノキ (*Magnolia obovata* Thunb.) など落葉広葉樹の侵入がみられる (Yamamoto 1993b, Yamamoto 1994)。これらの侵入・混交は、倒木の発生後、林内待機稚樹の被圧解放や埋土種子の発芽により起こっている。

一方、人工林では、豪雪地帯の不成績造林地にブナ・ウダイカンバ (*Betula maximowicziana* Regel)・ミズキ (*Cornus controversa* Hemsl.)・ウワミズザクラ (*Prunus grayana* Maxim.)・ミズナラなど多種類の落葉広葉樹が侵入することが報告されている (長谷川 1991, 1998, 小谷 1988, 小谷・矢田 1989, 小谷 1990ab, 前田ら 1985, 前田 1992, 阪上 1984, 横井・谷口 1989, 横井・山口 1992, 1998)。これらの広葉樹は、造林のための地拵えをきっかけとして侵入し、下刈りや除伐の終了とともに、雪圧によって消失したスギ個体の位置を占める。とくに、樹種による萌芽再生力の違いが混交林の構成種に影響するとされる (長谷川 2000, 横井 2000)。

暖温帯のスギ人工林では、下刈りによって侵入を抑制されていたケヤキ (*Zelkova serrata* Makino) が、下刈りの終了とともに定着し混交する (前田 1998)。また、ヒノキ人工林では、シラカシ (*Quercus myrsinaefolia* Blume) やヒサカキ (*Eurya japonica* Thunb.) などの常緑広葉樹のほかに、クロモジ (*Lindera umbellata* Thunb.)・ガマズミ (*Viburnum dilatatum* Thunb.) などの落葉広葉樹が侵入する (清野 1990)。これらの樹種の侵入は、閉鎖林内の光環境が間伐の影響で改善され、埋土種子の覚醒や稚樹の被圧解放の結果起こっている。また、海岸マツ林においても、「松くい虫」による「マツ枯れ」跡地の光環境変化がコナラ (*Quercus serrata* Thunb. ex Murray) やヤマウルシ (*Rhus trichocarpa* Miq.) の侵入・混交を促している (紙谷ら 1991, 川崎・橋詰 1996)。

以上のように、針葉樹林内への広葉樹の侵入は、天然林では気象害等による林冠ギャップの形成が契機となって起こり、周辺にある自然植生の影響を受けて再生が起こる。人工林ではこれらに加え、下刈りや除伐といった人為的作用も侵入時期や構成種に影響を与える。

旧薪炭林の植生を調べた研究 (紙谷 1993, 宮脇 1977) によると、もともとその地域にあった天然林と、天然林を伐採した後の二次林では樹種

構成が異なる。したがって、冠雪害を受けたスギ人工林に侵入する広葉樹の樹種構成は、その地域の天然林と二次林に強い影響を受けながら、周辺の天然生林とまったく同じではないことが考えられる。

林冠にギャップが形成されると、下層で前生樹および散布種子や埋土種子から発芽した稚樹が成長を始める (荻野 1989)。ヒノキ林 (赤井ら 1980, 1981, 清野 1990) とスギ林 (林野庁 1996) で、相対照度の高い林分ほど下層植生が発達し現存量も高いことが報告されている。光や土壌などの環境要因と侵入種の空間分布について、ヒノキ林で山本ら (1977) が、豪雪地帯のスギ不成績造林地で阪上 (1984) と小谷 (1990b) が報告している。天然林の林冠ギャップ内での稚幼樹の分布特性が、北海道の汎針広混交林 (Ishizuka 1984, 久保田・渡辺 1996) や冷温帯落葉広葉樹林 (Nakashizuka and Numata 1982, Namikawa 1996, 玉井ら 1991) で調べられている。ギャップ内で樹種間に競争が生じること、樹種の出現パターンはギャップの特性により違うことが報告されている。人工林内への広葉樹の侵入時期・定着成功率・成長速度は、冠雪害の発生時期や侵入場所に影響を受けることが予想される。冠雪害跡地でも、ギャップの面積形状と侵入広葉樹の分布様式について調べる必要がある。

光合成特性の違いから、広葉樹はカンバ類やハンノキ類のように光補償点が高く耐陰性が低い強光利用型、カエデ類のように光補償点が低く耐陰性が高い弱光利用型、さらにこれらの中間型に分けられている (小池 1988, Koike 1988)。シュートの伸長様式や開葉様式から、ドロノキ (*Populus maximowiczii* A. Henry) やケヤマハンノキ (*Alnus hirsuta* Turcz.) のような伸長期間や開葉期間が長い順次型や、ブナやミズナラのように伸長期間や開葉期間が短い一斉型、さらにそれらの中間として一斉+順次型に分けられている (Kikuzawa 1983, 1984, 丸山 1978, 丸山・佐藤 1990)。

また、樹種には樹高成長量や樹高分布から、アカマツ (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) のように伸長量が大きく林冠層のみに偏って出現するタイプ、コナラのように伸長量のばらつきが大きく林冠層付近と林床に不連続に出現するタイプ、さらにリョウブ (*Clethra barvinervis* Sieb. et

Zucc.) やヤマモミジ (*Acer amoenum* Carr. var. *matsumurae* Ogata) のように伸長量は比較的小さく低木から亜高木層に主に分布するタイプに分けられている (石田 2000)。

そのほか、アズキナシ (*Sorbus alnifolia* C. Koch) のように成長が遅い樹種は林冠閉鎖部で前生稚樹として更新するタイプ、ダケカンバのように成長が早い樹種は開放地で更新するタイプ、さらにこれらの中間的な成長速度を持つ樹種は前生稚樹として小面積ギャップに出現するタイプか、埋土種子として上木の林冠疎開後に出現するタイプとして、樹種を分けた研究例 (肥後 1994) もみられる。光環境によって成長パターンや成長量が異なる樹種と変わらない樹種があることが、北海道の31種落葉広葉樹の種子サイズと稚苗の葉フェノロジーの関係で調べられている (清和・菊沢 1989, 清和 1994)。

北陸地域のような多雪地帯では、比較的低緯度でありながらも積雪量が多く根雪期間も長いことから、少雪地帯の広葉樹の生活史と異なるかもしれない。さらに、スギ人工林では落葉広葉樹林に比較し、年間を通じて林内の光環境に大きな変化が生じないことから、侵入する広葉樹が人工林内の光環境にどのように対応しているのか明らかにする必要がある。

### 第3節 本研究の各章の説明

第2章「石川県の気候と植生分布」では、研究の対象とした石川県の自然環境、北陸地方の原植生と現存植生の特徴を明らかにし、スギ人工林内に侵入する可能性を持つ広葉樹の樹種構成や分布について考察する。

第3章「冠雪害が人工林の成林に与える影響、とくに林床における光環境の変化」では、過去に発生した冠雪害の実態と林分構造の変化を調べることにより、冠雪害がどのような特性でどのような個体に発生するのかを考察する。冠雪害の発生と林分密度の関係を解析し、造林木の本数減少パターンの特徴について議論する。また、冠雪害によって生じた林冠ギャップの光環境を、相対照度や光量子束密度の測定結果により明らかにする。

第4章「冠雪害跡地に侵入した広葉樹の生活史と生育特性」では、冠雪害を受けたスギ人工林に侵入した広葉樹の生活史特性を議論する。広葉樹の葉やシュートの伸長パターンを種間または種内

で比較し、光環境との関係を議論する。

第5章「冠雪害跡地への広葉樹の侵入パターン」では、広葉樹の侵入パターンについて議論する。種子源となる隣接広葉樹林との距離が、スギ人工林に侵入した広葉樹の種類や密度などに与える影響、冠雪害の発生が広葉樹の侵入時期や成長に与える影響、さらに冠雪害による林冠ギャップが広葉樹の樹種ごとの侵入場所に与える影響について検討した。

第6章「総合考察」では、これまでの議論を総括し、冠雪害を受けたスギ人工林における広葉樹の生態的特性と侵入や成長のパターンの関係を整理する。