

## 要 旨

降雪パターンや雪質および地理的条件から、北陸地方の暖温帯地域は、冠雪害が発生しやすい気象条件下に置かれており、現在では、比較的大規模な冠雪害が常襲的に発生している。スギ人工林に頻発する冠雪害の発生パターンと光環境の変化を解析し、そこに侵入した広葉樹の生態的特性と侵入パターンの関係を論じた。

スギ人工林の種構成は、コナラ林やウラジロガシ林など暖温帯林のそれと共通性が高かった。ただし、ヤマグワ・ニワトコ・クサギなどスギ人工林でとくに出現頻度が高い樹種が存在した。その結果、石川県に現存する自然植生と比較して、冠雪害後のスギ人工林に出現する木本・草本植物の種数は、必ずしも少なくないことがわかった。

冠雪害によるスギ造林木の本地減少パターンを、冠雪害が起きる以前での自然枯死による本地減少パターンと比較し、林分管理や立地環境に関係した要因を説明変数として、数量化Ⅰ類によって統計解析した。冠雪害による本地減少割合では、造林木の平均形状比の偏相関係数が最も高かったのに対し、自然枯死による本地減少割合では、植栽密度の偏相関係数が最も高かった。冠雪害は、標高要因によって説明され、低標高域ほど被害が大きくなる傾向を示した。ただし、低標高域では本地減少割合のばらつきが大きかった。冠雪害は、斜面の傾斜度や微地形などの立地環境要因よりも、平均形状比の他、平均胸高直径や収量比数など林分管理に関係する項目が説明要因として検出された。この結果、標高200m以下の粗放な過密林分で、冠雪害の危険が最も高いことがわかった。

冠雪害による光環境の変化を解析した。同じ面積を持つ林冠ギャップでも、樹高の低い若齢期(15~30年生)の林分では、樹高の高い老齢期(50~70年生)の林分と比較して、明るい光環境を示すことがわかった。ただし、面積7m<sup>2</sup>以下の単木的なギャップでは、樹高にかかわらず、ギャップ内の相対照度は周辺の林内とほぼ同じ値を示した。ギャップの中心から林縁に向かって一定間隔で、4方位方向の散光相対照度の分布を調べた。その結果、散光相対照度は、ギャップの形状の違いにより分布パターンに違いはあるものの、ギャップの中心部ほど高い値を示した。また、30%以上

の高い相対照度を得るためには、平均樹高12.8mで90.9m<sup>2</sup>以上のギャップ面積が必要であることがわかった。それに対し、直射成分を含む光量子束密度は、25.9m<sup>2</sup>の小面積のギャップ内でも、他の方位に比べ、北側の場所で最も大きいことがわかった。直射成分の照射によって、これら小面積のギャップも陽樹の侵入にとって有効な光環境を創り出すことがわかった。

スギ人工林に侵入した広葉樹の生態的特性を、シュート伸長の季節性の面で解析した。53種の広葉樹のシュートや葉の伸長期間を基に、伸長パターンの違いを50年生のスギ人工林内で比較した。小面積のギャップ内で、シュートの伸長パターンは、ミズキ・ホオノキ・ニワトコ・イボタノキなどにみられる長期間伸長する「順次型」、およびウワミズザクラ・ミズナラ・ウラジロガシ・ケヤキなどにみられる短期間の伸長で終える「一斉型」に大別された。シュート伸長パターンは、落葉や常緑、高木や低木といった生活型とは関係なく、樹種による生育環境への特化の違いを反映していた。シュートを連続して伸長させる「順次型」の広葉樹では、ギャップ環境下で、枝域の拡大に2次伸長が重要な役割を果たしていた。シュートを一時期に伸長する「一斉型」の広葉樹は、主に1次伸長で枝域を拡大していた。「順次型」はギャップの明るい環境に、「一斉型」は林内の暗い環境に適した伸長パターンであることがわかった。

スギ人工林に侵入した広葉樹には、鳥散布型および低木性樹種が多いのが特徴であった。林内での成立位置によって、隣接する広葉樹林からの距離が遠くなるほど、その種類数・密度・種多様性・母樹林との類似性が低くなる傾向があった。ウラジロガシやコナラなど母樹林の主林木や、アズキナシ・ウリハダカエデは、広葉樹林内ないしはスギ人工林との境界付近に出現する傾向があった。それに対し、フユイチゴ・ウリノキはスギ人工林の内部でのみ出現した。また、コアジサイ・ヒメアオキ・ウワミズザクラ・オオバクロモジなどは、スギ人工林内の場所に関係なく高い密度で出現するタイプであった。これらの樹種の出現傾向に、母樹からの距離とともに、スギ人工林に存在する林冠ギャップが関係していることがわかった。

スギ人工林で、ほとんどの広葉樹は冠雪害の発生後に侵入していた。ミズキ・ホオノキ・アカメガシワ・カラスザンショウなどは、ギャップ形成

## Summary

後3年以内に出現する傾向があり、侵入後の成長も早く、ギャップ形成による成長回復が敏速なタイプであった。しかし、ミズキは、林冠ギャップ内でも、出現後4年で急速に枯死する傾向があった。一方、ウワミズザクラ・ケヤキ・ミズナラ・シロダモなどはギャップ形成後3年以内だけでなく、その後も継続して出現する傾向があった。このタイプは、侵入後の成長も緩やかで、ギャップ形成による成長回復も鈍かった。しかし、ウワミズザクラは、ミズキに比べて出現後4年では林冠ギャップでの枯死率は低かった。

スギ主林木と侵入した広葉樹の分布相関を調べたところ、スギ人工林の林齢に関係なく、広葉樹は樹種特有の分布パターンを示した。ミズキ・ホオノキ・アカメガシワ・カラスザンショウなどは、小区画の面積でスギ主林木と排他的な分布を示した。一方、ウワミズザクラ・ケヤキ・ミズナラ・シロダモなどは、区画面積に関係なくスギ主林木とランダムないし重複的な分布を示した。林内とギャップで出現本数の違いを比較したところ、スギ主林木と排他的な分布を示した樹種は、拡張ギャップで多い傾向があり、スギ主林木とランダムないし重複的な分布を示した樹種は林内で多いか、または拡張ギャップにも林内にも偏った出現本数を示さない傾向があった。また、拡張ギャップ域に侵入した広葉樹は、方位では北側の場所に偏って出現し、南側の場所に偏って出現する樹種は存在しなかった。

以上のように、広葉樹の侵入する時期や場所およびその後の成長経過は、それぞれの樹種の生活史と密接に関係しており、冠雪害の発生規模や頻度によって「順次型」と「一斉型」を示す広葉樹種の侵入の程度が異なることがわかった。冠雪害の規模が大きく、頻度が高いほど「順次型」を示す樹種の侵入に有利となり、規模が小さく、頻度が低いほど「一斉型」を示す樹種の侵入に有利となる。

最後に、これら広葉樹のシュート伸長様式と遷移段階・埋土種子期間・種子散布範囲など生態学的特性との関係や冠雪害跡地の修復に果たす役割について考察した。

In the Hokuriku Region along the Japan-Sea side, central Japan, plantations of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) are damaged frequently and catastrophically by wet and heavy snowfalls. In this study, the process of snow damage and the recovery of these plantations were analyzed by the pattern of light-climate changes and of invasion of broad-leaved tree species.

The species composition of forest understory in the damaged plantations was similar to that of oak forests dominated by *Quercus serrata* Thunb. ex Murray and *Q. salicina* Blume. However, some tree species appeared at a high frequency especially after the snow damage. As a result, the species richness of damaged cedar plantations was not always low compared to the other secondary forests nearby.

The decreasing pattern of tree density of planted cedar was statistically analyzed by a method (Quantification 1) using explanatory factors relating to forest management (tree size, initial density, etc.) and environment (topography, elevation, etc.). From the partial correlation, the mean height/diameter (H/D) ratio of planted cedar stems was the highest for explaining the snow damage. On the contrary, the initial plant density was the highest for explaining self-thinning.

The high risk of snow damage was explained by the elevation factor, indicating that the rate of damage became higher as the lower elevation. However, the ratio of damage in the low elevation varied widely among the stands. The snow-damage was also explained by management factors such as the mean H/D ratio, the mean DBH (diameter at breast height), and the yield index. The effects of environmental factors

such as the angle of inclination, microtopography was small. Consequently, the cedar plantation with a high density and at an elevation of less than 200 m was worst hit by the snow damage.

In the cedar plantation, the light condition within the canopy gaps formed by snow-damage was analyzed. The short and young stands (15- to 30-year-old) gave brighter light conditions compared to the tall and old (50- to 70-year-old) stands for the same-sized gap. However, the light condition of gaps less than 7 m<sup>2</sup> was as low as that under the closed canopy regardless of tree height. The relative light intensity (RLI) of diffused light within a canopy gap, was the highest at the center of the gap, although its pattern varied with the gap shape.

An RLI of 30% is normally considered as the lowest level necessary for the growth of light-demanding trees. In calculation, an RLI above 30% was attained by gaps with an area >90.9 m<sup>2</sup> and tree height <12.8m in a diffused light condition. When the direct light component was taken into account, even small gaps <25.9 m<sup>2</sup> can provide enough light for undergrowth in the northern part of a gap. This indicates that the direct light penetration through a small canopy gap creates an effective light environment for the light demanding tree.

The ecological characteristics of 53 woody plant species were analyzed from the seasonal change of their shoot elongation in a cedar plantation (50-year-old). The pattern was classified into two types, the succeeding type which elongated for a long term (*Cornus controversa* Hemsl., *Magnolia obovata* Thunb., *Sambucus racemosa* L. subsp. *sieboldiana* Hara, *Ligustrum obtusifolium* Sieb. et Zucc., etc.), and the flash type which elongated for a short term (*Prunus grayana* Maxim., *Q. crispula* Blume, *Q. salicina*, *Zelkova serrata* Makino, etc.). Shoot elongation patterns are independent of

the life form (e.g. deciduous or evergreen, tree or shrub), but related to the difference of growth habitats of species. Secondary elongated shoots of the succeeding type played an important role of spreading their branches in the crown space. These indicated that the shoot elongation pattern of the succeeding type and flush type adapt either to the rich light condition in a gap, or to the poor light conditions under the canopy.

The plant species invading the cedar plantation were mostly woody plants with bird-dispersed seeds. The number of species, density, diversity, and similarity to adjacent broad-leaved forest were different with the place in stand, i.e., with the distance from adjacent broad-leaved forests. The main woody species in the warm temperate zone, *Q. salicina* and *Q. serrata*, tended to appear in the broad-leaved stand or the boundary of a cedar plantation. The density of *Hydrangea hirta* Sieb. et Zucc., *Aucuba japonica* Thunb. var. *borealis* Miyabe et Kudo, *P. grayana* and *Lindera umbellata* Thunb. var. *membranacea* Momiyama tended to be high within cedar plantations. On the contrary, a few woody species (*Rubus buergeri* Miq., *Alangium platanifolium* Harms var. *trilobum*, etc.) tended to be distributed only inside of cedar plantations. Thus, the distribution tendency of the woody plant species is regulated by the existence of a canopy gap and the distance from mother trees.

Most of the broad-leaved woody plants invaded after the gap formation following the snow-damage. The invasion period of *C. controversa*, *M. obovata*, *Mallotus japonicus* Muell. Arg. and *Zanthoxylum ailanthoides* Sieb. et Zucc. was less than three years after the gap formation. Their growth after the invasion was fast. However, the seedlings of *C. controversa* quickly decreased within four years even in gaps. On the other hand, the invasion period of *P. grayana*, *Z. serrata*

Makino, *Q. crispula* and *Neolitsea sericea* Koidz. were more than four years after the gap formation. The growth after the invasion was slow. The seedlings of *P. grayana* in a canopy gap had a higher four-year survival rate than those of *C. controversa*.

The spatial correlation between the planted cedar tree and the invaded woody plant species was affected by the ecological characteristics of invaded plants, but not by the stand age in the plantation. *C. controversa*, *M. obovata*, *Ma. japonicus* and *Za. ailanthoides* existed in the extended gap area exclusive to the planted cedar tree. On the other hand, *P. grayana*, *Z. serrata*, *Q. crispula* and *N. sericea* were randomly distributed in the stand overlapping with the planted cedar trees. Within the extended gap, there were many woody plant species in the northern area of the canopy gap.

From the findings above, the period/area of invasion is closely related to the growth pattern/life history of woody species in the cedar plantations with snow damage. The scale and the frequency of the snow-damage affected the dominance pattern by the difference between the succeeding type and the flush type of the invaded species. When the snow-damage occurred on a large scale and at a high frequency, the invasion of succeeding type was promoted. When the snow-damage occurred on a small scale and at a low frequency, the flush type gradually enhanced their dominance.

Finally, the relationship between the shoot elongation pattern and ecological characteristics (*e. g.*, successional stage) of broad-leaved trees, and their role in the recovery process of the cedar plantation after snow damage were discussed.

## 謝 辞

本論分は、岐阜大学農学部の小見山 章教授による長年にわたる多大なご指導の下に成し得た研究成果のとりまとめである。心より感謝申し上げます。

また、静岡大学農学部の角張嘉孝教授、信州大学農学部の川崎圭造教授、および岐阜大学流域環境研究センターの小泉 博教授には専門の立場から貴重なご意見を賜った。広島大学総合科学部の富樫一巳教授には、石川県林業試験場入庁時よりご指導いただき、この研究の開始のきっかけを与えてくださった。富山県林業技術センターの長谷川幹夫氏、岐阜県森林科学研究所の横井秀一氏、新潟大学農学部の箕口秀夫助教授には多くの資料のご恵与とともに有益なご意見をいただいた。富山県林業技術センターの石田 仁氏、岐阜大学農学部の加藤正吾助手には論文の作成にあたって多くのアドバイスをいただいた。金沢大学大学院自然科学研究科院生の高田兼太氏には、現地調査からデータ整理にいたるまでお手伝いいただいた。石川県林業試験場の西鍛治肇場長には、論文をまとめるにあたってご理解と有益なご意見をいただいた。最後に、石川県林業試験場の坂本雅邦次長、能勢郁夫資源開発部長をはじめ職員諸氏には日頃より多大なるご厚情を賜っている。以上の方々に、厚く御礼申し上げます。