

論 文

針広混交林化したヒノキ不成績造林地の成長解析

—京都府美山町の24年生ヒノキ人工林を事例として—

嶋田俊平*・竹内典之**

Analysis of the growth of Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) and invading broad-leaved trees in an unsuccessfully managed plantation

— A case study of a 24-year-old Hinoki plantation in Miyama, Kyoto Prefecture —

Shumpei SHIMADA* and Michiyuki TAKEUCHI**

京都府美山町の24年生ヒノキ不成績造林地に調査プロットを設定し、サンプル木の樹幹解析によって材積成長の経過を解析した。その結果、ヒノキのサンプル木の材積成長速度が増加を続けていたのに対し、上層広葉樹のサンプル木の半数以上において、樹高が林冠に達する時期に材積成長速度が頭打ちになるか、減少し始めていることが明らかになった。今後この林を、手入れせず放置した場合、旺盛な成長を続けているヒノキが益々優勢になると考えられた。広葉樹の活力が減退している要因としては、ヒノキと広葉樹間の競争のみならず、同じ株内の萌芽幹どうしの競争の影響が小さくないことが示唆された。また、この林では有用広葉樹を多く含む侵入広葉樹が上層木の約3割を占めていたことや、植栽されたヒノキの多くが雪害やクマ剥ぎ被害を受けていたことから、ヒノキの単純林を目標とするより、より広葉樹の混交率の高い針広混交林として管理することが望ましいと考えられた。広葉樹の成長を促進するためには、ヒノキの間伐及び、広葉樹どうしの競争を緩和するための株整理が必要であると考えられた。

キーワード：不成績造林地、ヒノキ、広葉樹、材積成長速度、成長解析

The volume growth of trees in an unsuccessfully managed plantation of Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) invaded by broad-leaved trees was analyzed in Miyama, Kyoto Prefecture. Although the volume growth rate of more than half of the broad-leaved trees stopped increasing or began to decrease just after they reached the canopy, Hinoki continued to increase at a constant rate. This suggests that Hinoki will eventually predominate over the broad-leaved trees in the upper stratum. The factors affecting the decline in the vitality of the broad-leaved trees included not only competition between Hinoki and the broad-leaved trees, but also competition among broad-leaved trees that originated as sprout stems from the same individuals. One third of the upper stratum trees was broad-leaved trees including valuable species. Most of the Hinoki had been damaged by snow or debarked by bears. Therefore, it was suggested that this forest should be managed to be converted to a forest in which broad-leaved trees are dominant. To make the broad-leaved trees more dominant, thinning of the Hinoki and cutting of the broad-leaved trees and some stems in coppicing trees in the area with dense individuals are required.

Key words: unsuccessfully managed plantations, Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*), broad-leaved trees, the volume growth rate, analysis of the growth

1. 目的と背景

日本は国土面積の67%を森林で覆われており、全森林面積の約40%を人工林が占める。しかも、この大面積の人工林の多くはスギ、ヒノキ、カラマツなどごく少数の針葉樹種からなる単純同齢林である。これらの人工林の多くは1950年代中頃から国を挙げて進められた拡大造林政策によって、かつて地域住民に薪炭林や肥料採集用の

林などとして使われていた里山や、奥山の天然林が針葉樹単純林に変換されたものである。拡大造林によって造成された人工林の中には、気候条件、地形条件がスギやヒノキの生育に適していないところに造成されたことや、木材価格の低迷、林業従事者の減少、高齢化に伴い手入れが十分になされなかったことにより、造林木の成長が著しく不良な造林地や成林すらできていない造林地、いわゆる不成績造林地、が少なからず見られる。こ

* 京都大学大学院農学研究科 森林科学専攻

** 京都大学フィールド科学教育研究センター

* Division of Forest and Biomaterials Science, Graduate School of Agriculture, Kyoto University

** Field Science Education and Research Center, Kyoto University

これらの不成績造林地には、広葉樹が侵入・混交し、針広混交林の林相を呈しているものが多く見られる（豪雪地帯林業技術開発協議会，2000）。

針広混交林化した不成績造林地の研究事例は各地から報告されており（赤井ら，1989；小谷・高田，2000；前田，1992；横井・山口，1992；横井・山口，1998など），侵入広葉樹の成長経過についてもいくつかの報告がある（赤井ら，1989；長谷川，1992；横井・山口，2000）。しかし，それらは樹高成長を解析したものであり，材積成長を解析した例はない。樹高成長は密度の影響をあまり受けないが，材積成長の速度は樹木個体の活力と密接な関係にあること（Drew and Flewelling，1979）から，造林木や侵入広葉樹の材積成長の解析は，林分構成木の活力の把握，さらには今後の林分動態の予測に有効であると考えられる。

以上のことから，本研究では針広混交林化したヒノキ造林地に調査区を設定し，林分構造と林分構成木の平面分布を解析した上で，上層木の樹高及び幹材積の成長解析を行った。さらに，今後の管理のあり方に関して考察を加えた。

2. 方法

2.1. 調査地

本研究の調査地として，京都府北桑田郡美山町の財団法人阪本奨学会所有山林内（北緯35° 21′ 東経135° 35′）の24年生人工林（約1.0ha）を用いた。調査地の位置する美山町は積雪の多い（1～2 m）地域であるために，雪害による人工林の形質劣化や成長不良が見られる。また，同町は造林木へのクマ剥ぎの被害が多くみられる地域でもある。

この林は，1960年代頃まで薪炭林として利用されていた落葉広葉樹主体の二次林の皆伐跡地にヒノキが3300本/haの密度で植栽された人工林である。調査地は尾根に

近い斜面に位置し，尾根部には放置された落葉広葉樹主体の二次林が残る。これまでの施業管理としては，植栽後9年間の下刈りと雪起こしはされていたが，その後1998年に一度ヒノキの形質の良いものに関して枝打ちがなされた以外，除間伐等の保育は一切されていない。そのため，本調査が行われた2001年の時点では，コナラやクリなどの落葉広葉樹が侵入・生育し，その一部は林冠を構成していた。調査地がある美山町の位置を図-1に，林分地況および施業履歴を表-1に示した。

2.2. 調査方法

調査林分内に20m×40mのプロットを設定し，プロット内を5 m×5 mのメッシュに区画した。プロット内の胸高直径2 cm以上の樹木個体の樹種，胸高直径，樹高，位置を記録した。同じ株からの幹でも，胸高1.3m以下の高さで分枝している場合は同じ株の個体である旨を記載したうえで，別個体とみなした。ヒノキについては，熊剥ぎ被害の有無も記録した。プロット内の5 m×5 mメッシュから4つを規則的に選び，メッシュ内に出現した樹高1.3m以上で胸高直径2 cm未満の個体の樹種，胸高直径，樹高を記録した。また，同じ林分内のプロット周辺から，樹高が8 m以上のヒノキ6本，コナラ5本，クリ6本を伐採し樹幹解析によってこれまでの成長を解析した。

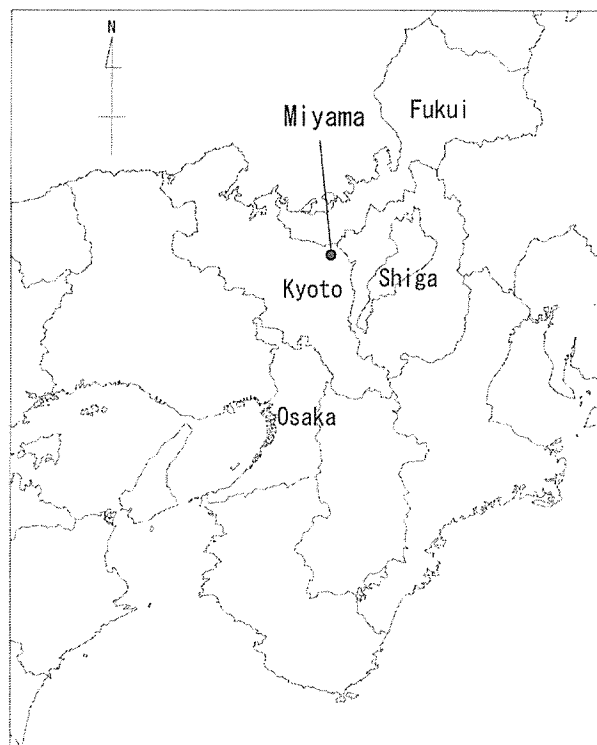


図-1 調査地位置図

Fig. 1 Location of the study site.

表-1 林分地況および施業履歴

Table 1 General description and management record of the study site.

林分地況	標高	495m
	斜面方位	北東
	年平均気温	13.0℃
	年降水量	2,500mm
	積雪深	1～2m
施業履歴	1977年	植栽
	1978年	補植
	1977-1985年	下刈り,雪起こし
	1998年	枝打ち

資料:(財)阪本奨学会(2001)より作成

3. 結果

3.1. 出現樹種と樹高分布

プロット内に出現した胸高直径 2 cm 以上の個体の個体数及び生活形を表-2 に示した。造林木であるヒノキと 18 種の侵入広葉樹が生育していた。

ヒノキは 1,600 本/ha であり、植栽時の 3,300 本/ha からほぼ半減していた。ヒノキの個体数が減少した要因としては、調査地が多雪地域に位置することから雪害が大きく作用していると考えられる。また、現在も生存しているヒノキの約 3 分の 1 の個体がクマ剥ぎの被害を受けていたことからクマ剥ぎの被害による枯死も少なくないと考えられる。

胸高直径 2 cm 以上の侵入広葉樹の密度は 3,263 本/ha であり、その約 85% がコナラ、クリ、アカシデ、タムシバの主要 4 種で占められていた。他にウリカエデ、ネジキ、ホオノキ、ウワミズザクラなどが 100 本/ha 以下の小さい密度で侵入していた。常緑性のソヨゴが 3 本入っていた以外はすべて落葉性の樹木であった。樹種構成の特徴としては、コナラ、クリに代表される薪炭林由来の樹種が数多く生育していたこと、木材が建築材、家具材などとして利用できる有用広葉樹に区別される樹種が相当数生育していたことである。

胸高直径 2 cm 未満であり樹高 1.3m 以上の個体に関し

表-2 DBH 2 cm 以上の出現個体の個体数及び生活形
Table 2 A list of tree species (DBH $\geq$ 2cm) found in the study plot showing individual number and life form.

樹種	個体数/ha	生活形
ヒノキ	1,600	高木
コナラ	1,175	高木
クリ	713	高木
アカシデ	650	高木
タムシバ	188	小高木
ウリカエデ	88	小高木
ネジキ	88	小高木
ホオノキ	63	高木
ウワミズザクラ	38	高木
クロモジ	38	低木
ソヨゴ	38	小高木
ヤマボウシ	38	高木
リョウブ	38	小高木
クマシデ	25	高木
コハウチワカエデ	25	高木
タニウツギ	25	低木
アオハダ	13	高木
イヌシデ	13	高木
キハダ	13	高木

注:「生活形」は原色樹木大図鑑(1985)を参照した。

ては 23 種の本木植物が出現した (表-3)。アカシデが 2,800 本/ha 出現し、最も多かった。タムシバも 600 本/ha 出現した。それに対して、コナラ、クリはごくわずかし出現しなかった。これはコナラやクリは耐陰性が低く、被陰された樹冠下では生存できないからであると考えられる。

図-2 に樹高 1.3m 以上の個体の樹高分布を示した。樹高分布は 9 ~ 10m と 4 ~ 5m の二つのピークを持つ二山分布を示した。林分構成木は樹高分布から、樹高 8m 以上の上層木と 8m 未満の下層木の 2 つのグループに大別された。上層木はヒノキ及びコナラとクリを主とする広葉樹から構成され、上層木に占める広葉樹の本数割合は約 30% であり、その 88% をコナラとクリの主要 2 種が占めた。また、下層木はアカシデが圧倒的に多く、下層木の約 90% を占めた。アカシデに続いてタムシバ、コナラも下層に多く生育していた。

表-3 DBH 2cm 未満の出現個体 (出現個体数の上位 15 種) の個体数及び生活形

Table 3 A list of tree species (DBH < 2cm) found in the study plot showing individual number and life form.

樹種	個体数/ha	生活形
アカシデ	5,600	高木
クロモジ	2,800	低木
ヒサカキ	2,400	低木
アセビ	1,800	低木
コハウチワカエデ	1,200	高木
タムシバ	1,200	小高木
ソヨゴ	600	小高木
ミヤマガマズミ	600	低木
アオハダ	400	高木
アクシバ	400	小高木
コナラ	400	高木
コバノミツバツツジ	400	低木
ネジキ	400	小高木
マルバアオダモ	400	高木
ヤマボウシ	400	高木

注:「生活形」は原色樹木大図鑑(1985)を参照した。

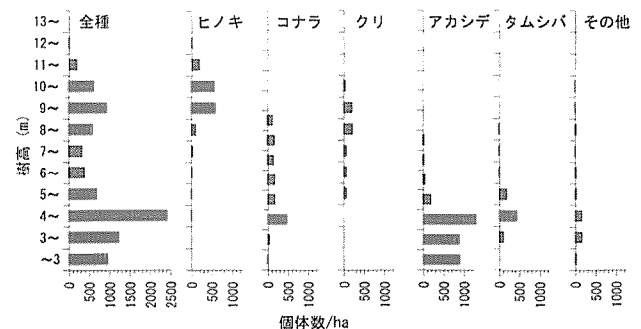


図-2 樹高階別個体数分布

Fig. 2 Frequency distributions of tree numbers of each height class.

3.2. 広葉樹の発生の由来

次に、コナラやクリを主とする広葉樹の発生の由来を検討した。発生の由来としては、ヒノキの植栽以前に生育していた個体の伐根からの萌芽、あるいはヒノキ植栽以前から存在していた埋土種子及びプロット周辺に残された二次林から飛来してきた種子が可能性として挙げられる。萌芽由来の個体は、実生由来の個体と比較して株立ち（萌芽株）を形成しやすいと考えられることから、個体群に占める萌芽株の割合を検討した。萌芽株の割合は幹率（園山ら，1997）として求めた。萌芽株の中で最も大きい幹を母幹、地上高1.3m以下の位置で母幹より分枝している幹を萌芽幹と定義し、萌芽幹をもたない幹を実生由来幹と定義した（園山ら，1997）。全幹中に母幹と萌芽幹が占める本数割合が幹率であり、式（1）で求められる。

$$\text{幹率(\%)} = (\text{母幹数} + \text{萌芽幹数}) / \text{全幹数} \quad (1)$$

表-4 に広葉樹主要4種及び広葉樹全体の幹率を示した。広葉樹主要4種であるコナラ、クリ、アカシデ、タムシバの幹率はそれぞれ33.6%、48.1%、39.4%、62.5%であり、タムシバ、クリ、アカシデ、コナラの順に萌芽株内の幹の割合が高かった。また、広葉樹全体の幹率は40.2%であった。このことから、プロット内の胸高直径2 cm以上の広葉樹幹の約4割が萌芽株内の幹である

表-4 主要広葉樹4種の幹率
Table 4 Sprout stem ratio of 4 major broad-leaved tree species in the study plot.

樹種	幹率(%)
コナラ	33.6
クリ	48.1
アカシデ	39.4
タムシバ	62.5
広葉樹全体	40.2

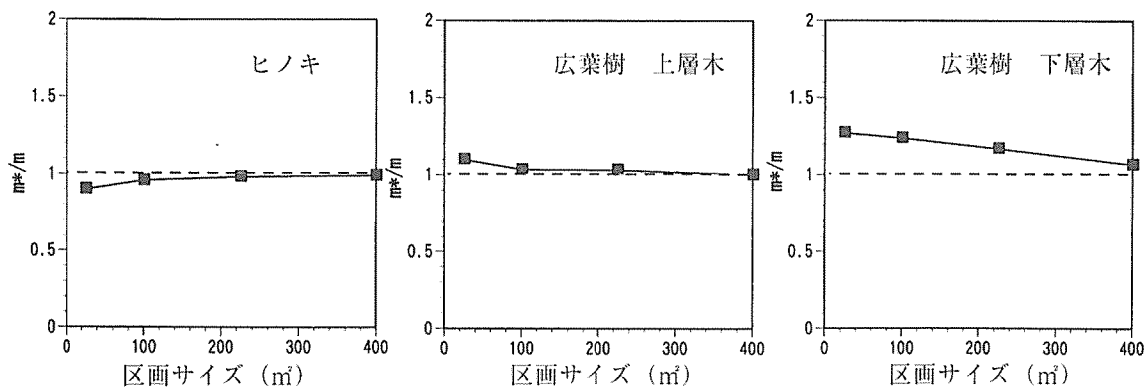


図-3 区画サイズと $\bar{m}/m$ の関係
Fig. 3 Allometric relation between quadrat sizes and $\bar{m}/m$.

こと、つまり、株立ちの状態で生育していることが分かった。

以上の結果から、プロット内に生育する広葉樹は、ヒノキの植栽以前に生育していた個体の伐根からの萌芽に由来するものを多く含むのではないかと考えられる。また、この要因としては、埋土種子や飛来する種子の絶対的な量の問題もあるが、萌芽による初期成長が実生からの初期成長と比較して圧倒的に速いこと（亀山，1996）が作用していると考えられる。

3.3. 平面分布

広葉樹とヒノキの分布様式及び分布相関の解析を行った。

Iwao (1972) の $m - \bar{m}$ 法¹⁾ を使って分布様式を解析した。解析の結果得られた区画サイズと $\bar{m}/m$ の関係および判定された分布様式を図-4 に示す。ヒノキと上層広葉樹は区画サイズが大きくなるにしたがって $\bar{m}/m$ の値は1に漸近するのでランダム分布と判定された。また、下層広葉樹は400m²以下の区画サイズでは、常に $\bar{m}/m$ が1を大きく超えていたので集中分布と判定された。

次に、Morisita (1959) の $R'\delta$ 法²⁾ を使ってヒノキと上層広葉樹、下層広葉樹の間の分布の関連性を解析した結果を表-5 に示す。

ヒノキと上層広葉樹の $R'\delta$ 及びヒノキと下層広葉樹の $R'\delta$ は0より小であり、相反的に分布していた。広葉樹上層木と下層木の $R'\delta$ は0より大であり、相引的に分布していた。

以上の結果から、ヒノキと上層広葉樹が競争関係にあ

表-5 ヒノキと広葉樹の分布相関係数
Table 5 Correlation coefficients between *Hinoki* and broad-leaved trees.

	ヒノキ	広葉樹 上層木	広葉樹 下層木
ヒノキ		-0.079	-0.081
広葉樹 上層木			0.183
広葉樹 下層木			

ること、上層広葉樹がパッチ構造をもつために上層広葉樹間の競争関係もあることが考えられた。

3.4. 成長解析

3.4.1. 樹高成長

ヒノキ及び広葉樹のこれまでの成長過程を検討するためにサンプル木の樹幹解析による成長解析を行った。

図-4の上段は、ヒノキ、コナラ、クリのサンプル木の樹高成長の推移を示したものである。ヒノキは25年前からほぼ一定の割合で樹高成長を続けていた。コナラ、

クリは下刈りが終了した15年前前後から成長を開始し、その後ヒノキを上回る速度で樹高成長を続けた。その結果、5年前ぐらいからヒノキと同程度の樹高に達する広葉樹の個体が多くみられるようになった。

図-4の中段はヒノキ、コナラ、クリのサンプル木の樹高成長速度の推移を示したものである。樹高成長速度に関しては、ヒノキ、コナラ、クリにおいて、変動が大きい傾向があった。しかし、成長開始時と最近で速度に大きな差は見られなかった。最近10年の傾向を見ると、どの種においても樹高成長速度が徐々に減少していた。

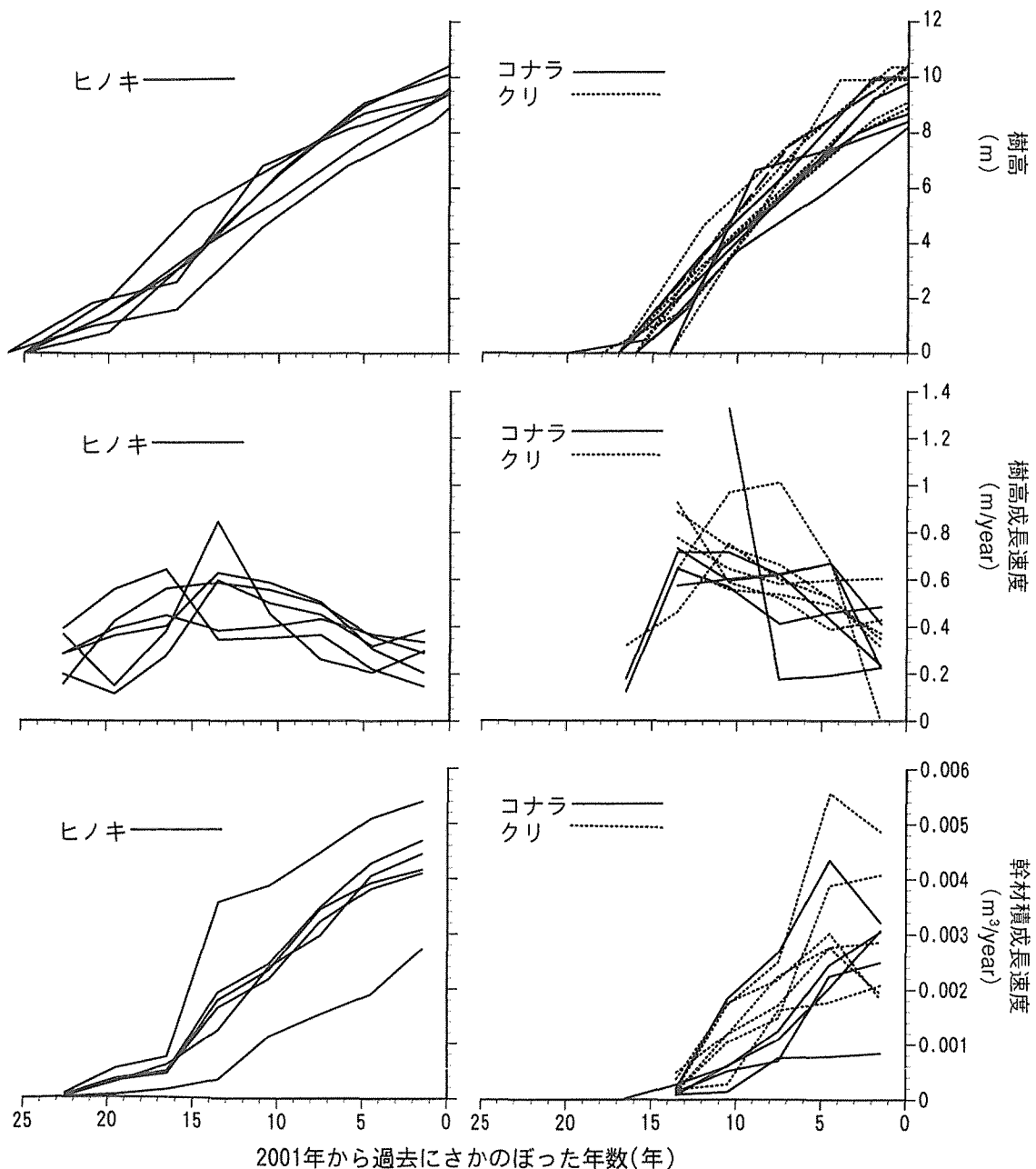


図-4 上層木の樹高・樹高成長速度・幹材積成長速度の推移

Fig. 4 Time course of heights growths, growth rates of stem and growth rates of stem volume by stem analysis of sample trees.

3.4.2. 幹材積成長

ヒノキと広葉樹の成長の動向をより明らかにするために、幹材積成長に着目した。図-4の下段は、ヒノキ、コナラ、クリのサンプル木の幹材積成長速度の推移を示したものである。ヒノキは植栽後、コンスタントに幹材積成長速度が増加している。つまり、加速度的成長を続けていると言える。これに対し、コナラ、クリでは5年前前後から、11本中6本の個体の成長速度の増加が止まるか、あるいは減少に転じている。成長速度の増加が停止、あるいは減少し始めた個体は、クリが6本中4本、コナラが5本中2本であった。

個体の成長速度、特に材積成長速度が頭打ちになることや減少することは、活力の低下を特徴づけ (Drew and Flewelling, 1979), 活力が低下すると枯死が起きやすくなる (Spurr, 1962)。この林分においては、上層木のコナラ、クリの多くに材積成長速度の増加の頭打ちや低下がみられることから、上層広葉樹の活力が低下する傾向にあると考えられる。その原因としては、ヒノキと広葉樹あるいは広葉樹のパッチ内での広葉樹同士の競争が激しくなったためであると考えられる。また、クリの方が成長速度の増加停止または減少した個体の割合が大きかった。このことは、コナラよりクリの幹率が比較的大きかったことから、成長速度の減少の影響として、株内の広葉樹同士の競争の影響も小さくないということが示唆された。

4. 考察

本調査林分において、造林木であるヒノキの密度は、自然枯死によって植栽時の3300本/haから1600本/haまではほぼ半減していた。また、広葉樹が相当数侵入しており、林冠を構成する上層木の本数割合で約30%がコナラとクリを主とする広葉樹であった。下層には主にアカシデ、タムシバが生育していた。

上層広葉樹は、パッチを形成し、ヒノキと避けあうようにランダムに散らばって生育していた。このことから、上層広葉樹は、林冠が閉鎖される以前の比較的早い時期はヒノキの分布にあまり影響を受けずにランダムに分布していたが、徐々にヒノキと競争関係になり相反的に分布するようになったと考えられる。上層の広葉樹は、ヒノキより8~10年遅れて成長を始めたにもかかわらず、ヒノキを上回る樹高成長をみせ、ヒノキと同程度の樹高になっている。しかし、幹材積成長の解析の結果、これら上層広葉樹の成長速度が5年程前から低下し、活力が低下していることが明らかになった。原因としては、ち

ょうどこの時期にヒノキと同程度の樹高に達する広葉樹が多くみられるようになったことから、林冠が閉鎖し、ヒノキと広葉樹あるいは広葉樹のパッチ内での広葉樹同士の競争が激しくなったためであると示唆される。萌芽由来の幹が個体群に占める割合の大きいクリで成長速度の低下が顕著にみられたことから、株内の広葉樹同士の競争による影響も小さくないと考えられる。今後ヒノキと上層広葉樹の成長が、近年におけるものと同様の傾向を示した場合、上層広葉樹が減退し、ヒノキがより優勢な針広混交林へと移行すると予測される。

次に、本調査林分の今後の管理の展望について考察をする。ヒノキが自然枯死により極端に本数が減少していることや3分の1以上の個体が大小の熊剥ぎ被害を受けていることから、ヒノキの木材生産を目指すのは難しいと考えられる。しかし、広葉樹に関しては、上層には多様な高木性落葉広葉樹が侵入しヒノキと林冠を分け合い、下層や林床にも多様な樹種が侵入しているなど多様性は高い。また、有用広葉樹と言える樹種の個体が多く見られた。従って、今後、この林はヒノキの単純林を目標とするより、より広葉樹の混交率の高い針広混交林として管理することが望ましいと考えられる。しかし、このまま放置し続けるとヒノキがより優勢になると考えられるので、クマ剥ぎ被害、雪害などの影響を受けている形質の悪いヒノキや上層の広葉樹を圧迫しているヒノキの間伐と、広葉樹同士の競争緩和のための株整理をすることが望ましいと考えられる。

5. おわりに

近年、造林木や侵入広葉樹の立木本数を指標にした施業指針が提案されている (横井・山口, 2000; 小野寺, 1988など)。しかし、立木本数だけからその林を評価すると林分動向の予測を誤り、間違った施業指針が導かれるおそれがあると考えられる。本稿でも論じたように、侵入広葉樹は株立ちの状態を呈していることが多いために、造林木と侵入広葉樹の競争のみならず、株内の広葉樹同士の競争も考慮しなければならない場合も想定されるからである。また、侵入広葉樹は樹種により耐陰性や樹形などの性質も様々であることも考慮に入れる必要があると考えられる。

侵入広葉樹の耐陰性、樹形、萌芽株の比率などの指標も導入したものを改めて体系付けなければならない、このことが今後の課題である。

本研究を進めるにあたり、(財)阪本奨学会の鬼石長作氏には調査地のデータを提供していただいた。森林情報学研究室の教官、院生の方々には貴重なご指摘、ご批判

をいただいた。ここに記して深く謝意を表する。

注釈と文献

注1 $m-\hat{m}$ 法とは、平均密度 m と平均こみあい度 $\hat{m}$ の間の関係から、パッチの有無、有るときのパッチのサイズ、パッチ自体の分布を解析する手法である。平均こみあい度は、区画あたり個体あたり平均他個体数と定義される、集中度の絶対的指数であり次式で表される。

$$\hat{m} = \frac{\sum_{j=1}^q x_j(x_j - 1)}{\sum_{j=1}^q x_j}$$

q : 総区画面数, x_j : 番目の区画 ($j=1, 2, 3, \dots, q$) の個数
平均こみあい度の平均密度に対する比 $\hat{m}/m$ は空間分布がランダム分布のとき 1, より集中的な分布のとき 1 より大、一様分布のとき 1 より小になる。区画サイズと $\hat{m}/m$ の関係から個体、あるいはパッチを基本単位とした分布様式を判定できる。(Iwao, 1972)

注2 $R'\delta$ 法は次式によって求められる分布相関指数 $R'\delta$ の値から分布相関を判定する手法である。

$$R'\delta = \frac{2(q \sum_{i=1}^q nx_i ny_i - NxNy)}{q(\delta x + \delta y) NxNy}$$

nx, ny : i 番目の方形区における x 種と y 種の個体数

Nx, Ny : 全方形区における x 種と y 種の総個体

$$\delta x = \sum_{i=1}^q nx_i (nx_i - 1) / Nx (Nx - 1)$$

$$\delta y = \sum_{i=1}^q ny_i (ny_i - 1) / Ny (Ny - 1)$$

この手法によると、二つのグループにおいて計算した $R'\delta$ が 0 より大のとき、その二つのグループは相引的に分布し、0 より小さいとき、その二つのグループは相反的に分布し、0 に等しいときその二つのグループはそれぞれ独立に分布するといえる。(Morisita, 1959)

引用文献

- 1) 赤井龍男・吉野東州・真鍋逸平・上田晋之助(1989) 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
- 2) 赤井龍男・吉野東州・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
- 3) Iwao, S. (1972) Application of the $m-\hat{m}$ method to the analysis of spatial Patterns by changing the quadrat size. Res. Popul. Ecol. 14. 97-128
- 4) 小谷二郎・高田兼太(2000) 冷温帯のスギ人工林の下層での広葉樹のフェノロジー。森林立地. 42. 9-15
- 5) 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
- 6) 亀山章編(1996) 雑木林の植生管理—その生態と共生の技術—。303pp. ソフトサイエンス社。東京。
- 7) 財団法人阪本奨学会(2001) 田歌山林資料. 3pp. (財)阪本奨学会。京都。
- 8) 園山希・渡辺展之・渡辺修・丹羽真一・久保田康裕(1997) 針広混交林における材木種の萌芽特性と個体群動態。日本生態学会誌. 47. 21-29
- 9) 豪雪地帯林業技術開発協議会編(2000) 雪国の森林づくり—スギ造林の現状と広葉樹の活用—。189pp. 日本林業調査会。東京。
- 10) T. John Drew, James W. Flewelling (1979) Stand Density Management: an Alternative Approach and Its Application to Douglas-fir Plantation. Forest Science. 25(3). 518-532
- 11) 長谷川幹夫(1992) あの山はどうなった—II 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
- 12) 林弥栄・古里和夫・中村恒雄監修(1985) 原色樹木大図鑑。1000pp. 北隆館。東京。
- 13) 前田雄一(1992) 鳥取県扇ノ山におけるスギ不成績地の現状と有用広葉樹の動態。森林立地. 34. 43-49
- 14) Morisita, M. (1959) Measuring of interspecific association and similarrity between communities. Mem. Fac. Sci., Kyushu. Univ., Ser. E(Biol)3. 65-80
- 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。日本林学会中部支部大会講演集. 40. 63-64
- 16) 横井秀一・山口清(1998) 積雪地帯のスギと広葉樹の生育実態。森林立地. 40. 91-96
- 17) 横井秀一・山口清(2000) 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