

平成 19 年度 林野庁委託調査

天然力を活かした更新技術による
森林整備に関する調査

(平成 19 年度調査報告書)

平成 20 年 3 月

林野庁整備課

目 次

調査の実施について	1
調査報告書	3
はじめに	3
I. 北海道東部のカラマツ人工林における再造林未済地の植生回復 (野堀嘉裕)	4
II. 立地条件と天然更新の関係について (龍原哲) －埼玉県奥秩父地方における不成績造林地の事例－	16
III. 残存天然生林分から人工林伐採跡地への林縁効果 (伊藤哲) －九州地方における調査事例－	34
調査報告書ダイジェスト版	53

天然力を活かした更新技術による森林整備

に関する調査の実施について

(調査委員会事務局)

近年、地球温暖化問題に対する国民の関心は高まっており(内閣府世論調査:「関心がある」87%(H17)→92%(H19))、これに呼応するかのように CO₂ 吸収が森林に期待する役割の第一位にランクされるようになった(同調査:「CO₂ 吸収で地球温暖化防止」42% 2位(H15)→54% 1位(H19))。また国際的に見ても、福田総理が出席した昨年 11 月の東アジア首脳会議で採択された「気候変動、エネルギー及び環境に関するシンガポール宣言」においては「2020 年までに森林面積を 1500 万ヘクタール以上増加させる」としている。

このように森林に対する期待が国内外を通じて高まっている中にあって、我が国の森林資源にあっては、木材価格の低迷や森林所有者の不在化等により、適切な整備が期待しがたい状況が多く見受けられるようになっている。このため、戦後に當々と造成された「団塊世代」人工林を核とした我が国森林資源の着実な代替わりを図って多様で豊かな森林資源を次世代に引き継ぐことが重要な課題となっている。この場合、単一樹種で構成された単層林を再度単層林に仕立てる人工更新に頼るだけではなく、天然更新も活用しながら、多様な樹種から構成され高度な多面的機能を有する森林へ誘導していくことが重要である。

本件調査は、林野庁の委託により平成 18 年度から 3 カ年計画で実施し、全国各地域における様々な育成条件下における天然更新の状況等について調査・分析し、天然更新の可能性の判定法について検討を行うことにより、天然更新を活用した森林整備のより効率的・効果的な推進に資そうとするものである。調査に当っては調査委員会を設置(資料 1 参照)して、委員会において調査方針・調査計画・調査取りまとめ等を検討し(資料 2 参照)、これに基づいて具体的な調査の実施と報告書のとりまとめを行った。19 年度にあっては、北海道東部のカラマツ人工林における「再造林未済地の植生回復」、太平洋側落葉広葉樹林帶における「立地条件と天然更新の関係」、九州地方における「残存天然性林分から人工林伐採跡地への林縁効果」の 3 点についての調査と報告がなされた。来年度も、具体的な事例に基づく天然更新の状況等についての調査・分析が引き続き実施され、最終的には、天然更新の可能性の判定法について検討と取りまとめがなされることとなっている。

資料 1

天然力を活かした更新技術による森林整備に関する調査委員会名簿

調査委員会委員長	野堀 嘉裕	山形大学農学部生物環境学科	教授
調査委員会委員	龍原 哲	東京大学大学院農学生命科学研究科	准教授
調査委員会委員	伊藤 哲	宮崎大学農学部生物環境科学科	准教授

資料2

天然力を活かした更新技術による森林整備に関する調査委員会の開催

第一回委員会

日時 平成19年7月26日（木）15時

場所 (財)国際緑化推進センター研修室

議題 (1) 「天然力を活かした更新技術による森林整備に関する調査」の概要について

(2) 調査の手法・手順・分担等の検討

(3) 平成19年度調査・取り纏め計画の検討

第二回委員会

日時 平成19年12月25日（火）14時

場所 (財)国際緑化推進センター会議室

議題 (1) 平成19年度調査の中間報告

(2) 報告書取り纏め方針の検討

I. 天然力を活かした更新技術による森林整備に関する調査

2007年度報告

はじめに

本調査は民有林における針葉樹人工林において天然更新に必要な要因の分析を行うとともに、仮に再造林が放棄された場合においては天然更新を活用した後継樹の導入の可能性を探ろうとするものである。

2006年度の調査では、造林の限界、潜在的な危険地域、森林管理の経過、天然更新樹種の特徴、伐採作業時の問題等について多面的に調査を行い考察することとし、第Ⅰ章では、主に東北地方を中心としてG I S分析を活用しながら造林適地の広域ゾーニングについて、第Ⅱ章では、新潟県五頭山周辺を対象地とし、G I Sを利用して林地の立地条件から二次林の更新状況を予測する手法について、第Ⅲ章では、九州地方の再造林放棄地における森林再生の規定要因の解析に基づいて、人工林伐採後の森林再生における天然力活用の可能性を検討した。その結果、造林適地のゾーニングや代償植生のタイプについて、天然更新が導入可能な箇所の判定について、また伐採方法、集材方法、作業道の作設方法、更新完了に要する期間について今後検討していく必要性が指摘できた。

2007年度には2006年度の調査結果を踏まえると同時に、日本列島の北部、中央部、南部における造林未済地の現状と課題について調査することとし、第Ⅰ章では「北海道東部のカラマツ人工林における再造林未済地の植生回復」について、第Ⅱ章では埼玉県奥秩父地方を対象地として、G I Sを利用して林地の立地条件から天然更新木の樹高成長を予測する手法について、第Ⅲ章では最近の暖温帯林の天然更新に関する研究報告事例の分析を行うとともに、隣接天然生林分から人工林伐採跡地へ林縁効果について検討することとした。なお、今年度の調査では各報告の冒頭に関連する研究事例を紹介することで理解度を高めることを目標とした。

北海道東部のカラマツ人工林における再造林未済地の植生回復 (野堀嘉裕)

1. はじめに

北海道における森林経営の歴史は明治初期に始まるが、現在に至るまで道有林、国有林や御料林、また森林総合研究所（旧林業試験場）や北海道大学などにより多くの研究がなされている。このなかで本調査に関連する主要な研究事例についてはじめに紹介する。

次に、北海道内における造林未済地について北海道立林業試験場に情報提供の依頼を行った。その結果、道東のカラマツ林には該当する林地があり、十勝森づくりセンターの協力を仰ぐべきとの回答を得た。そこで、今回の調査では対象を池田町の十勝森づくりセンター周辺とすることとした。調査の内容は、カラマツ人工林における伐採後5年程経過した再造林未済地の更新樹種についてである。ここに、今回の調査に便宜を図っていただいた十勝森づくりセンターの関係各位に心から謝意を表す次第である。

2. 研究事例調査

北海道は亜寒帯の針葉樹林や冷温帯の落葉広葉樹林帯に属している。明治初期の開拓時代には原生林が大規模に伐採され農耕地に転換された経緯がある。大正時代以降、エネルギー源としての石炭採取をフォローする目的で坑木用カラマツ林が大規模に造成されたが、第二次世界大戦直後には戦後復興の気運と同調してカラマツ林が大規模に造成された。エネルギー源が石炭から石油依存にシフトした昭和30年代以降、坑木用に造成されたカラマツ林は用材林としての用途に転換せざるを得ない状況に至った経緯がある。必然的にカラマツ林の造成は減少し、齢級構成は不連続な状態となっている。この間の北海道における比較的大規模な林業経営史の研究としては、北海道炭鉱汽船による巨大所有の林業経営研究（有永、2005）や王子製紙による大規模林業経営（大嶋、1991）などいくつかの研究事例あげられるが、経営方式はカラマツ等成長の早い樹種による短伐期経営が一般的である。天然林施業と人工林施業を組み合わせて総合的な生長量を増大させようとする大規模な実験的研究の代表例としては高橋（1971）による「林分施業法」が特筆できる。一方、比較的小規模の民有林、特に農家林経営についての研究事例は近藤（1984）による「北海道の農家林家における育林活動とその労働力の調達－世界農林業センサスより－」、伊藤（1988）による「地域・家族ぐるみの農家林経営について－酪農地帯における林業生産活動－」、秋林（1988）による「地域林業の展開と森林組合－北海道北部の風連町の事例より－」、戈川・市村（1989）による「混牧林施業導入による農家林複合経営について－カラマツ林分での活用事例－」の研究事例をみると極めて少ないが、その人工林造成の経緯は国有

林や巨大所有民有林に同調したものといってよく、カラマツ人工林による短伐期経営が多い。造林学的研究としては人工造林の歴史とともに適地の判定に関する研究事例が多く、その代表的なものとして松井（1966）による「北海道の森林の取扱いに関する研究Ⅱ－北海道における各樹種の植栽沿革とその造林成績に対する考察－」があげられる。北海道内でも特に東部の十勝地区における造林学的な研究事例としては矢野・今田（1966）による「掌状作業法の研究」、今田（1972）による「ミズナラの構造材林作業法に関する研究」が特筆できるものであり、天然林と人工林を流域の形態に則して配置する斬新な施業法といえる。人工林内の天然更新の可能性に関する研究事例は、初期の拡大造林地が伐期に至り、再造林が必要な時期に至る1980年代に増加する傾向にある。カラマツ林内での天然更新に関する研究としては伊藤（1986）、増地（1986）、北澤（1988）、鈴木ら（1989）による研究があげられ、天然更新初期の成長状態が分析されている。ただし、更新完了を把握するような研究事例はみられない。更新完了の定義については関連するいくつかの研究事例がみられるが、筆者（1986）による「天然林における林相改良のための施業に関する基礎的研究」のなかで更新樹木の成長度合いの区分が示されている。これについては後述する。一方、伐採跡地の土壤浸食についての研究としては遠藤（1962）による「種々の植生被覆のもとにおける流路の発達について」を第一に示すことが出来るほかいくつかの研究事例があり、何れも伐採跡地の土壤浸食に言及している。なお、本調査の主目的である人工林内で伐採跡地の更新や、収穫方法の違いによる更新状態の差異を分析した事例はみられなかった。

3. 十勝支庁管内市町村の人工林伐採跡地面積

北海道日高山地の東側に位置する十勝支庁には図-I-1に示すように19市町村があり、最も大きな行政単位は北部の足寄町である。図-I-2に示すように十勝支庁管内の



図-I-1 土藤支庄の市町村

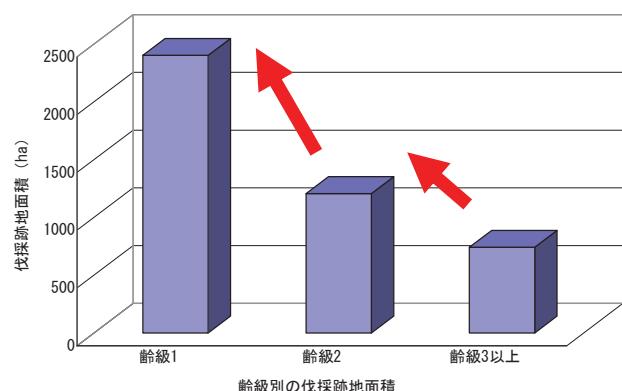
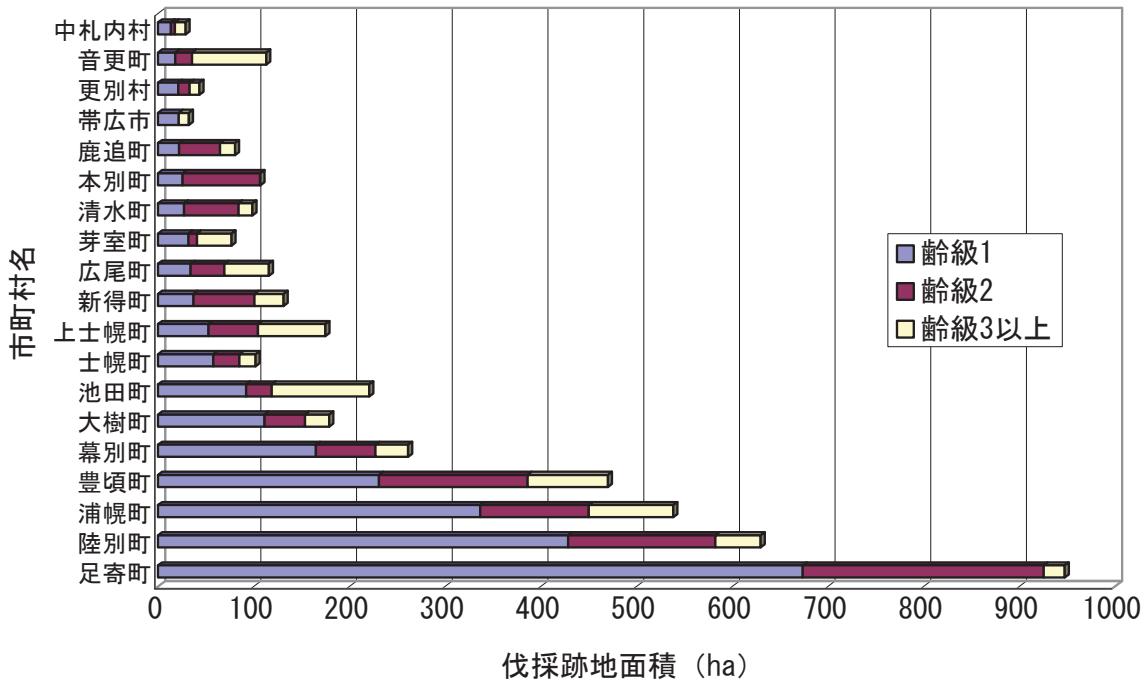
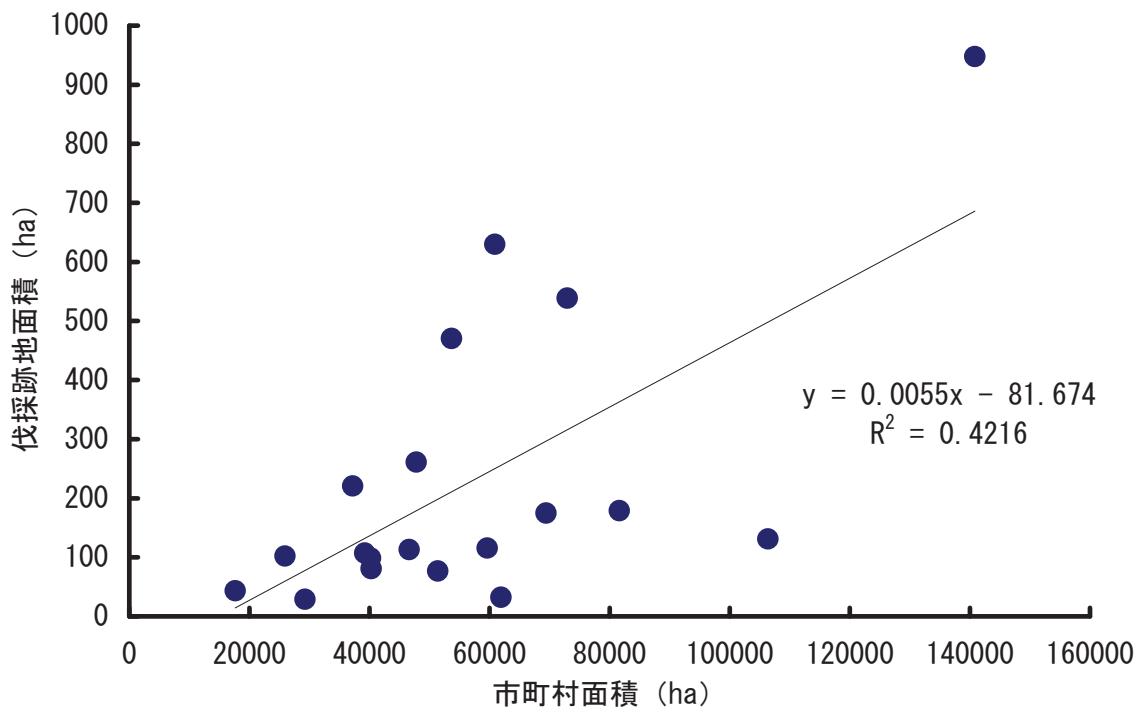


図-I-2 館級別の伐採跡地面積

伐採跡地面積は1齢級が2,400ha以上あり、2、3齢級以上の合計値を上回っている。このことからここ数年間の伐採跡地面積が急拡大していることがわかる。



図－I－3 市町村別齢級別人工林伐採跡地面積



図－I－4 市町村面積と伐採跡面積の関係

図-I-3は十勝支庁管内で1齢級の伐採跡地面積の少ない市町村順に示した伐採跡地面積の状況である。この図から、足寄町が948haと最も多く陸別町630ha、浦幌町538haと続いており、最も少ない中札内町で29haとなっていることがわかる。

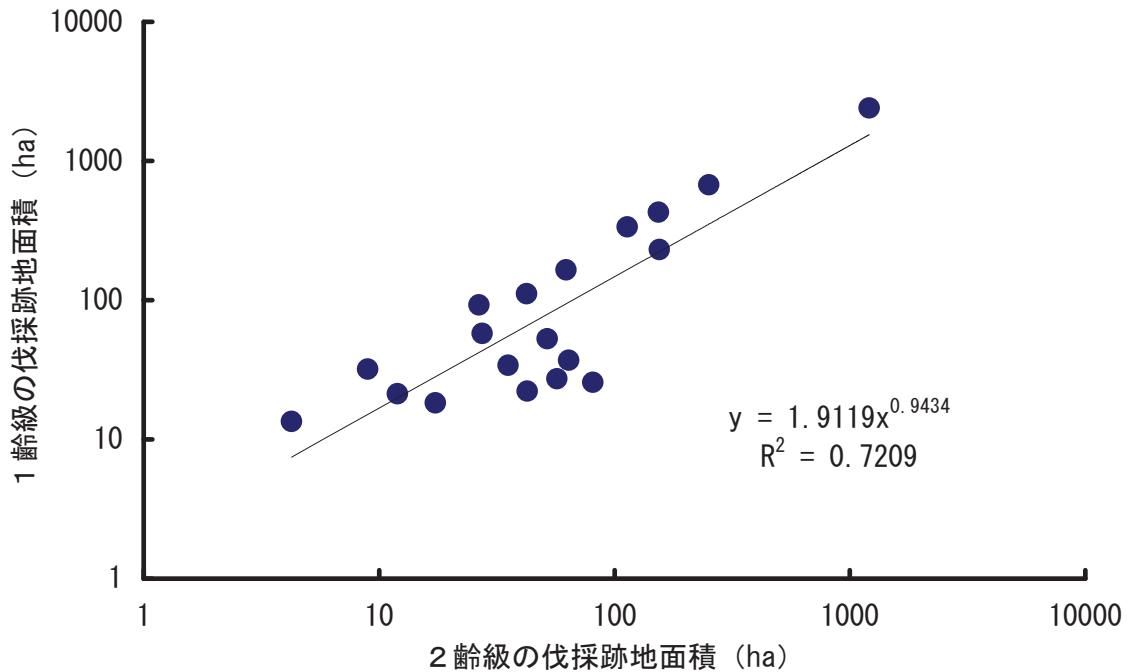


図-I-5 2齢級と1齢級の伐採跡地面積の関係

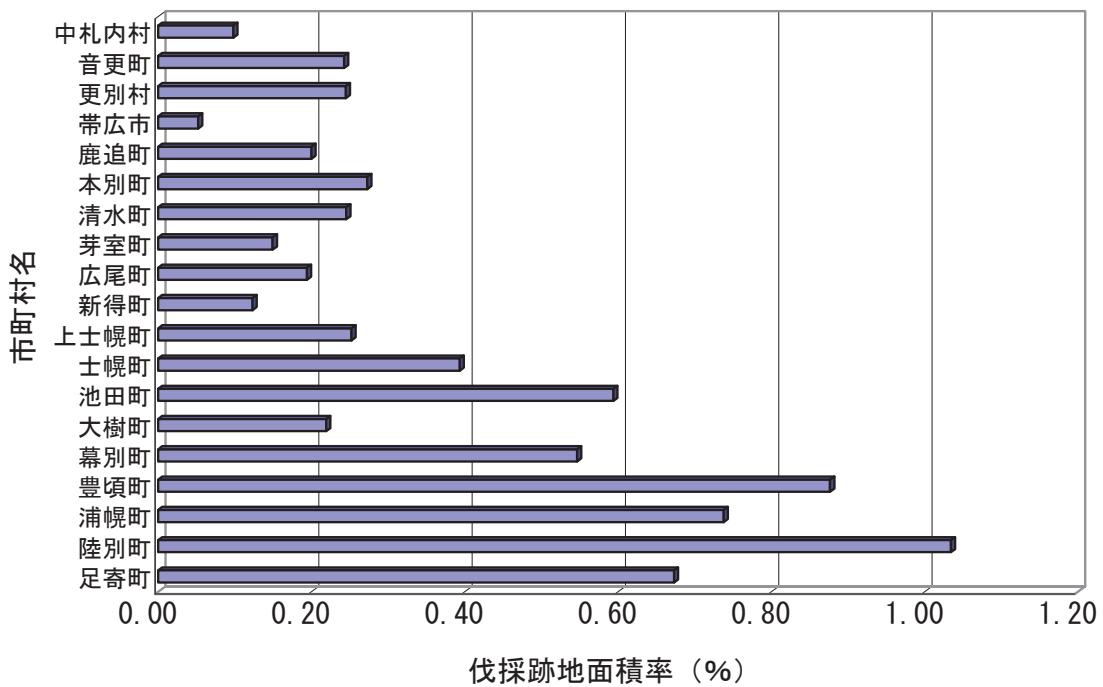


図-I-6 市町村面積に占める伐採跡地の面積

図-I-4に示すように、市町村域面積と伐採跡地面積の関係には有意な正の相関がみられると同時に、2齢級と1齢級の伐採跡地面積の関係（図-I-5）にも強い正の相関がみられる。これらのことから、今後の伐採跡地面積がこれまでと同様の傾向で推移する可能性が否定できない。また、図-I-6に示すように市町村域面積に占める伐採跡地面積の比率は最も小さい帯広市で0.05%、最も大きい陸別町で1.03%、平均で0.40%となっている。自治体の面積の平均で0.4%、最大で1%を超える面積が伐採跡地であるという状況は極めて異常であるといえる。

4. 現地調査結果

調査地は1999年以降に伐採された5箇所である。以下に順を追って調査地の事例を紹介する。

1) 調査地 No. 1 : 豊頃町

調査地No.1は豊頃町内にあるカラマツ林1.72haの伐採跡地である。1999年伐採の後再造林はなされておらず、草地となっている（写真-I-1）。

林内での天然更新樹種はケヤマハンノキ、ハギ、ヤナギ類2種、ヤマグワ、ドロノキ、ニワトコ、ヤマウルシ、ハリギリ、イタヤカエデ、ホオノキ、ミズナラ、エゾヤマザクラ、ハルニレ、その他低木種2種であった。林縁部には、カシワ、ヤチダモ、ハルニレ、エゾヤマザクラ、イタヤカエデ、カラマツがみられたがこれらは伐採以前から成立していたものと考えられるが保残木として意図的に配置された様子はない（写真-I-2）。ササ類の繁茂は少ないものの草本の繁茂が極めて多く（写真-I-3）、高木性の樹種は1本/m²に満たない状態にあり、カラマツ実生や背後に残存しているトドマツの実生も全くみられなかった（写真-I-4）。



写真-I-1 伐採跡地の全景



写真-I-2 林縁部の残存木



写真－I－3 カラマツの伐跡



写真－I－4 繁茂する大型草本植物

2) 調査地 No. 2 : 浦幌町

調査地 No. 2 は 2005 年以前の伐採跡地であるが詳細な伐採年は不明である。伐採前は共用林として利用されていたことがわかっている。伐採跡地内やその周辺には広葉樹の保残木が母樹として残されていた（写真－I－5）。その樹種はカシワ、ヤチダモ、ハルニレ、エゾヤマザクラ、イタヤカエデ、カラマツなどである。



写真－I－5 斜面下部の伐採跡地



写真－I－6 集材路の痕跡

林内での天然更新樹種はミズナラ、ニワトコ、カシワ、ヤチダモ、ハルニレ、ヤナギ類 1 種、クマイチゴ、シラカバ、タラノキ、ハリギリ、イタヤカエデ、ハギなどであり、裸地にはカラマツ実生もみられた。保残木が天然更新に寄与しているという効果はうかがえ

なかつた。高木性の樹種は1本／ m^2 に満たない状況にあり、僅かに存在するカラマツ実生はシカによる食害を受けた形跡がみられた。ササ類の繁茂は中程度である。写真—I—6に示すように急傾斜地に作設された集材路の跡がみえる。

3) 調査地 No. 3：池田町富岡地内①

調査地 No. 3 は池田町富岡地内にある 3.36ha の 2005 年の伐採跡地である。



写真—I—7 伐採跡地全景



写真—I—8 カラマツの実生更新



写真—I—9 更新完了サイズのカラマツ



写真—I—10 背後の砂取り地

伐採跡地の全景は写真—I—7 に示すとおりである。林内での天然更新樹種はカシワ、ハギ、ストローブマツ、ミズナラ、ヤチダモ、カラマツ、イチイ、マユミ、ヤマウルシ、イタヤカエデ、コバノトネリコ、ヤマブドウ、ドロノキ、シラカバ、イヌコリヤナギがみられ、高木性の樹種は 10 本／ m^2 以上みられた（写真—I—8）。既に更新完了と想定されるサイズのカラマツも多数みられており、シカによる食害もみられないため、今後はカラマツと広葉樹の混交林へと推移していく可能性が高い（写真—I—9）。ただし、写真—I—10 に示したように公道側からみることが出来ない背後の伐採跡地は大規模な砂取り地になっていた。砂取りは現在でも継続していることから、天然更新により成長が期待される森林部分も破壊される可能性が認められた。森林所有者の意向により再造林はおろか土地自体が改変されてしまうことが危惧されるのであり、森林の取扱いに関する施策だけで

は森林管理が出来ない現状がうかがえた。

4) 調査地 No. 4 : 池田町富岡地内②

調査地 No. 4 は 2007 年伐採の跡地であるが面積は不明である。この調査地は後述する造林未済地データベースの記入例に取り上げられた箇所である。



写真-I-11 伐採跡地全景と作業道



写真-I-12 根株を埋めて作設された作業道

林内での天然更新樹種はカラマツが多数みられ $10 \text{ 本}/\text{m}^2$ 以上が数えられた。これらは伐採前から成立していた可能性が高い。伐採地周辺にはミズナラなどの広葉樹が存在するが、伐採後の経過時間が短いため実生による天然更新は僅かに確認できたが、旺盛といえる状態ではなかった。この伐採跡地が造林未済地データベースの記入例に取り上げられた理由は作業道の作設方法の問題点にある（写真-I-11）。写真-I-12 に示すように残材を根株に重ねるようにして確保された作業道は、安価に作業道を確保した事例にあたる。このような作業道は周辺の土壤とともに根株が腐敗すると同時に崩れ落ちる可能性が高い。仮に、このような土壤の上に実生更新が発生したとしても短期間で崩壊してしまう可能性も指摘できる。造材の際の経費節減は森林所有者への収入を増加させる効果が期待できる半面、森林としての維持は困難となってしまう可能性も指摘できるのである。

5) 調査地 No. 5 : 池田町千代田地内

調査地 No. 5 は池田町千代田地内の 2004 年に 2.96ha が伐採された跡地である。

林内での天然更新樹種はカラマツ、ハルニレ、コブニレ、カシワ、ヤチダモ、シラカバ、イタヤカエデ、タラノキ、ヤマグワ、ヤナギ類 2 種、ハギなどであり（写真-I-13）、高木性樹種は $1 \text{ 本}/\text{m}^2$ 程度がみられた。この伐採跡地は牧場との境界が不明瞭であり（写真-I-14）、放牧された牛が常時林内に入り込んでいる様子がうかがえた。今後土地利用が急速に変化し、牧場が拡大する恐れがあるものと思われた。



写真-I-13 天然更新したコブニレ



写真-I-14 牧場に隣接した伐採跡地

5. 更新状態の調査基準

道有林ではこれらの造林未済地について図-I-7のような調査票を作ってデータベース化を行っており、調査項目として下記の項目については前提条件として把握している。

作業者：森林組合・土木業者

造林の予定：あり・なし

経歴：住所・所有者・前生樹・伐採

年度

枝状整理状況：写真

地表の掘削状況：写真

更新方法：造林予定の有無・天然下

種更新の可否・地表面復までの

要期間・土壤流失の恐れ

また、天然更新の現状についてはその目的を「天然更新完了基準について『天然更新完了基準作成の手引き』(平成19年4月19日付け森林第138号で各森づくりセンターに通知済)により林野庁より示されたが、既にある道の基準との関連性を検証する。国の基準が道の基準と同一かそれ以下であれば、別紙天然更新完了の確認方法について

天然更新完了基準検証調査票（例）																										
市町村名		当別町																								
実施年月日		H19.7.27																								
調査者		森林計画課 近主任、松浦主任																								
伐採年度	林班	小班	株密度	プロットNo.																						
H14	10	1	3	本庁記入																						
判定 更新指数 1.73 ▼ 更新完了																										
＜調査結果＞ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">プロットNo. 本庁記入</th> <th rowspan="2">樹高区分</th> <th rowspan="2">実木数</th> <th rowspan="2">本数/ha</th> <th rowspan="2">針広別</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a:15~30cm</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>b:30~100cm</td> <td>0</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C:100cm~</td> <td>13</td> <td>5,200</td> <td>広葉樹</td> </tr> <tr> <td>d:胸高直径3~19cm</td> <td>0</td> <td>0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> 						プロットNo. 本庁記入		樹高区分	実木数	本数/ha	針広別	a:15~30cm	0	0	b:30~100cm	0	0		C:100cm~	13	5,200	広葉樹	d:胸高直径3~19cm	0	0	
プロットNo. 本庁記入		樹高区分	実木数	本数/ha	針広別																					
a:15~30cm	0					0																				
b:30~100cm	0	0																								
C:100cm~	13	5,200	広葉樹																							
d:胸高直径3~19cm	0	0																								
No.	樹種 ⁽¹⁾	樹高	胸高直径	根径 ⁽²⁾																						
1	ヤナギ	190		2																						
2	ヤナギ	165		1.7	⁽²⁾ 樹高1.3m未満もしくは、胸高直径3cm未満のものについて根径を記入する																					
3	ヤナギ	195		1.5																						
4	ヤナギ	210		2.4																						
5	ヤナギ	140		1.3																						
6	ヤナギ	200		1.3																						
7	ヤナギ	160		1.2																						
8	ヤナギ	155		2.1																						
9	ヤナギ	220		2.3																						
10	ヤナギ	250		2.5																						
11	ヤナギ	220		2.3																						
12	ヤナギ	165		2.3																						
13	ヤナギ	200		2.1																						
14																										
15																										
16																										
17																										
18																										
19																										
20																										

図-I-7 調査票の例

(案) のとおり進める予定。」として「天然更新完了基準検証調査」を行っている。調査方法は「調査地は、一般民有林で『樹冠疎密度』ないし『立木度』が3のものを対象とする。

『樹冠疎密度』は森林調査簿の『立木度』に依らず、現況による。現地に5m×5mの調査プロットを設定する。プロット内の木本植物を次の分類に分けて調査する。」としている。この際、木本類の調査区分としては下記を用いている。

- a : 稚幼樹（樹高=15~30cm未満）の本数/ha
- b : 稚幼樹（樹高=30~100cm未満）の本数/ha
- c : 稚幼樹（樹高=100cm以上）の本数/ha
- d : 中径木（胸高直径=3~19cm）の本数/ha

更新の程度は下記の式を用いて指標化している。

$$\text{更新指数 } (R) = a / 10,000 + b / 5,000 + c / 3,000 + d / 2,000$$

ここで、 $R \geq 1$ のものを更新完了と見なす。

これらの調査に関しては、第一に実際に発生している伐採跡地に比較して調査箇所が少なすぎるところが指摘できる。また、地形情報等の調査項目が不足していること、多変量解析などの統計的分析が組み込まれる要素がないことなどが指摘できる。今回の現地調査ではNo.3の池田町富丘の事例のように、土地利用が変わってしまっている実態が把握されたが、このような事態は極めて重要な事項であるにもかかわらず備考欄に記載するのみでしか対応できない状態にある。一方、更新指数に使われている係数については地域的な違いを考慮する必要が感じられる。特に、調査対象の更新木区分に関しては根拠が不明確であり、実際の調査でも合理性に欠けると考えられる。

表-I-1 調査対象区分

調査対象木区分		
更新木	稚苗	樹高 0.3m未満
	稚樹	樹高 0.3m以上 1.3m未満
	幼樹	樹高 1.3m以上で胸高直径 5.0cm未満
未成木		樹高 1.3m以上 14m未満で胸高直径 5.0cm以上 13cm未満
成木	小径木	胸高直径 13cm以上 25.0cm未満
	中径木	胸高直径 25.0cm以上 39.0cm未満
	大径木	胸高直径 39.0cm以上

注：野堀(1986)から引用した。

筆者（野堀、1986）は明治期以降における田中（1929）による権太の研究事例や北海道における旧国有林や御料林などの調査区分を整理したうえで上記のとおり林木区分を行っている（表—I—1）。この林木区分における更新木の樹高0.3mは北海道における一般的な伐採高であり、この苗高に至る年数を精査した矢島・松田（1978）は生長期間として針葉樹15年と広葉樹5年を提示している。樹高1.3mは胸高直径測定高、胸高直径5.0cmは2cm括約での最小計測対象を意味する。未成木は更新が完了した個体を意味している。それぞれに妥当な根拠を持っており、実際の調査時の合理性も兼ね備えている。これらの理由から更新木の調査区分は再検討する必要を感じた。

おわりに

2007年度の調査では北海道における林業経営に関する文献調査と特に東部のカラマツ人工林について実態調査を行った。その結果、民有林におけるカラマツ造林の経緯は北海道における大規模経営に類似しており、齢級構成が不連続であることがわかった。また現地調査の結果、天然更新木によって将来の森林を構成することがほとんど困難と考えられる伐採跡地があることがわかった。このような伐採跡地では土地所有者の造林意欲の向上をはかると同時に積極的に再造林を促す必要がある。仮に、地形などの条件により林地保全が必要であるにも関わらず、造林意欲の欠如が決定的な場合には、何らかの手段により所有者の意向に関わらず行政的な手段で再造林を実施していく必要も感じられた。また、伐採や集材の方式が極めて粗放のため、集材路周辺で土壤浸食がおき始めているケースが確認できたが、このような事例は2006年度報告の九州の事例に類似するものといえる。道有林による調査でもこの問題点は指摘されており、造材業者の特定は行われているが、改善策は示されていない。今後、この問題は全国的に波及していくことも懸念されるので、早急な対策が必要といえよう。

北海道東部の場合、民有林のカラマツ人工林が放牧場と隣接しているケースが少くない。天然更新木による更新完了が確実な場合であっても、土地所有者の考えにより土地利用形態自体が変更されてしまう場合のあることがわかった。土砂の採取に供するようなケースは現時点では稀だと考えられるが、伐採跡地の拡大に伴い拡大していくことが懸念される。これは森林経営以前の問題であり、行政部署の横断的組織による実態調査が不可欠だといえる。

最後に、何が更新阻害要因であるのかを明らかにするためには数量化II類など統計的手法が活用すると同時に、これを可能とするような系統的な調査を実施していく必要がある。また、更新完了時期の特定に関しても地域的特長を考慮する必要があるが、更新木の調査区分の統一は必要だと考えられた。

引用文献

- 秋林幸男（1988）地域林業の展開と森林組合－北海道北部の風連町の事例より－. 林業経済, 482 : 26-30.
- 有永明人（2006）巨大所有の形成とその山林経営の展開－北炭山林の諸土地経営史・1898～1965－. 303pp, 鶴岡書店, 鶴岡.
- 遠藤泰造（1962）種種の植生被覆のもとにおける流路の発達について. 北海道大学農学部附属演習林研究報告, 21(2) : 425-452.
- 今田盛生（1972）ミズナラの構造材林作業法に関する研究. 九州大学演習林研究報告, 45 : 81-225.
- 伊藤順一（1988）地域・家族ぐるみの農家林経営について－酪農地帯における林業生産活動－. 林業技術研究発表大会論文集/北海道林業普及協会, 昭和 62 年度 : 34-35.
- 伊藤哲明（1986）カラマツ人工林の天然更新について. 林業技術研究発表大会論文集/北海道林業普及協会, 昭和 60 年度 : 92-93.
- 北澤 新（1988）北海道大学苦小牧地方演習林カラマツ人工林風害跡地の広葉樹の更新について. 日本林学会北海道支部講演集, 36 : 69-71.
- 近藤和男（1984）北海道の農家林家における育林活動とその労働力の調達－世界農林業セансスより－. 光珠内季報, 61 : 1-8.
- 増地孝幸（1986）カラマツ人工林におけるトドマツの天然更新について. 林業技術研究発表大会論文集/北海道林業普及協会, 昭和 60 年度 : 80-81.
- 松井善喜（1966）北海道の森林の取扱いに関する研究Ⅱ－北海道における各樹種の植栽沿革とその造林成績に対する考察－. 林業試験場研究報告第 189 号, 1-160.
- 野堀嘉裕（1986）天然林における林相改良のための施業に関する基礎的研究－北海道大学中川地方演習林に設定した施業標準林の分析を中心として－. 北海道大学農学部附属演習林研究報告, 44 : 1-122.
- 大嶋顯幸（1991）大規模林業経営の展開と理論. 339pp, 日本林業調査会, 東京.
- 鈴木重幸・栗原智彦・田口正雄（1989）カラマツの天然更新について. 帯広営林支局業務研究発表集, 昭和 63 年度 : 56-60.
- 高橋延清（1971）林分施業法－その考え方と実際－. 127pp, 全国林業普及協会, 東京.
- 田中祐一（1929）樺太における原生林の本質と施業に関する研究. 九州大学演習林研究報告, 14 : 6-8.
- 矢島 崇・松田 疊（1978）北海道北部針広混交林における主要樹種の生長について. 北海道大学農学部附属演習林研究報告, 35 : 29-63.
- 矢野虎雄・今田盛生（1966）掌状作業法の研究. 1-90. 九州大学農学部附属北海道演習林研究資料.

II. 立地条件と天然更新の関係について（龍原哲） －埼玉県奥秩父地方における不成績造林地の事例－

1. はじめに

不成績造林地の林分構造はこれまでの研究により、大体において造林木と侵入木（主に広葉樹）が複層状態を呈することが知られている。しかし、同様の施業が実行された大面積の造林地をみると、造林木と侵入木の優劣関係はさまざまであり、立派に成林している造林地から造林木がみられず広葉樹林になっているような造林地までがモザイク状に交じっている（小谷、1990；前田、1992）。この原因は豪・多雪地帯においては雪害の激しさの違いが最も大きいといわれているが（横井、2000），造林木と侵入木の成長を左右する立地条件の良否も関係している。植栽後に十分な管理がなされなかつたために広葉樹等が侵入した林地を対象として侵入木の生育状況を解析すれば、林地の立地条件と皆伐後の天然更新との関係を探ることができると考えた。

本章では太平洋側落葉広葉樹林帯において拡大造林後に広葉樹が侵入して二次林化した不成績造林地を対象とし、林地の立地条件と侵入木による更新状況との関係を定量的に解析した。その結果から侵入木の成長の良否を予測する手法を検討した。林地の立地条件として GIS で簡単にモデル化できる地形および地形から算出される水文環境や光環境を用いた。現地調査したデータに基づき、これらの立地条件から天然更新木のうち上層を占める樹木の樹高成長を推定するモデルを作成した。その結果から、GIS を用いて立地条件に対応した二次林の更新状況を予測した。

2. 既往文献調査

現地調査に先立ち、関東地方および中部地方を対象として人工林伐採跡地の更新や更新作業の違いによる更新状況の違いについて研究した事例を調査した。このような研究は主として林野庁森林管理局や県の林業試験場を中心に行われている。既に報告された 3 つの研究課題と今年度から開始された研究課題に関する内容を取りまとめた。また、対象地域において天然更新で出現する可能性のある樹種の特性も整理した。

1) 論文

(1) 多雪地の皆伐跡地における更新作業の違いが森林の種組成と更新木の密度に及ぼす影響（長谷川、2005）

富山県大山町にあるウダイカンバやブナなどの広葉樹が混交した 65 年生スギ人工林を皆伐して地拵えを行った林地を対象とした。皆伐後にスギを植栽した人工更新地とスギ幼齢林に囲まれた天然下種更新地に調査区を設置した。天然下種更新地には除草剤を散布した箇所（除草剤散布区）と除草剤を散布せず放置した箇所（放置区）にそれぞれ調査区を設置した。人工更新地では 1 年生から 6 年生時まで下刈りを行った箇所（植栽下刈り区）

に調査区を設置した。各調査地は8年生と13年生時に調査区内に生育する全ての維管束植物について植生調査を行い、樹高1m以上の全ての木本個体（ただし、チシマザサを除く）の樹高を測定した。Gleasonの種多様度とShannonのH'を用いて植物種多様度を判定した結果、放置区と除草剤散布区よりも植栽下刈り区で植物種多様度が高かった。大型地上植物の密度を比較した結果、大型地上植物全体では放置区より除草剤散布区と植栽下刈り区が高く、種子が埋土種子となる大型地上植物だけでみると放置区、除草剤散布区、植栽下刈り区の順に高くなつた。種多様度と更新密度を高める要因として、皆伐後の光環境の改善、材の搬出作業や地拵え、植栽作業による地表搅乱、下刈りや除草剤散布によるチシマザサなどの抑制が考えられた。種多様度を低下させる要因として、チシマザサの過度の優占や除草剤散布による草本類の枯死が考えられた。大型地上植物の更新結果だけからみれば、除草剤を散布した場所（除草剤散布区）はもとより、地拵えのみの場所（放置区）でも充分な更新密度を得ていた。しかし、3種類の調査区のうち植栽と下刈りをした場所（植栽下刈り区）だけが、特定の種を過度に優占させたり、欠如させたりせずに、高い大型地上植物の更新密度を得るということがわかつた。

（2）スギ・ヒノキ人工林伐採直後の更新状況（石橋ら、2004）

東京大学秩父演習林（埼玉県秩父市）における87年生スギ・ヒノキ人工林の皆伐跡地0.72haを対象とした。対象地に隣接する林分は尾根を挟んだ反対側と斜面下方に広葉樹再生林が、左右の斜面に30年生前後のスギ・ヒノキ人工林がある。対象地の斜面上部、中部、下部に皆伐の翌年春に地拵えをした箇所（地拵え区）と地拵えを行わなかつた箇所（無地拵え区）に1箇所ずつ合計6箇所の調査区を設置した。皆伐の翌年秋と皆伐2年目の春に調査区内の全ての木本類について植生調査を行い、木本類の樹高を測定した。他方、調査区から土壤を採取し蒔きだしによる埋土種子の発芽試験を行つた。調査区内にシードトラップを設置して散布種子の調査を行つた。植生調査の結果、斜面位置と木本類の更新状況との関係には傾向がみられなかつた。地拵え区では無地拵え区よりも樹高10cm以下の個体の占める割合が高かつた。また、地拵え区では皆伐翌年の秋から2年目春にかけて個体数が3分の1～3分の2に減少したが、無地拵え区では個体数にほとんど変化がなかつた。埋土種子の発芽試験の結果、皆伐時まで成育していたスギが圧倒的に多く、ついでヒノキが多く見られた、それ以外では低木、小高木が多くみられ、高木性の広葉樹はあまりみられなかつた。散布種子調査では広葉樹再生林に近い斜面上部で種子が最も多くみられ、ついで斜面下部で種子が多くみられ、カエデ類やカンバ類などの高木性の樹種の種子が多かつた。植生調査で多くの個体が確認された樹種の多くは埋土種子試験で多くの種子がみられた樹種と一致し、多くの散布種子が見つかった樹種との一致は明確ではなかつた。散布種子は隣接する広葉樹林から散布されたと思われ、高木性広葉樹の種子も含まれていたが、高木性広葉樹の更新は少なかつた。伐採後2年間の更新では散布種子よりは埋土種子

によるもののほうが大きいと考えられた。

(3) 針葉樹人工林の伐採跡地の更新と管理方法に関する研究（小谷・千木, 2004; 2005; 2006; 小谷, 2005; 2006）

伐採跡地および周辺人工林内の木本構成種と周辺人工林の埋土種子の木本構成種を比較した結果、伐採跡地では埋土種子由来と思われる木本種の優占度が高かった。人工林内での前生広葉樹は場所によって偏っていたが、埋土種子は場所に関係なく高密度で満遍なく埋もれていることがわかった。下層植生が乏しい人工林でも、A₀層が発達した場所であれば埋土種子が存在することがわかった。周辺広葉樹林の広葉樹密度から判断すると、伐採前に1万本以上の前生樹が成立した場所では皆伐後の植生回復が速やかに行われると考えられた。1ha程度の皆伐であれば、前生樹等による植生回復に大きな問題はないが、それ以上の面積を一度に伐採する場合には皆伐を避けるか、谷部などの急傾斜地に保残帯を設ける方法にすべきであると考えられる。

2) 試験研究情報

(1) ニホンジカ高密度下における人工林伐採後の天然更新に関する基礎的研究（関東森林管理局森林技術センター技術開発課題 開発期間：平成19～26年度）（林野庁関東森林管理局森林技術センター, 2007）

ニホンジカの食害による森林被害が各地で拡大している。特に、スギ、ヒノキの人工林は格好の餌場となり、裸地化した造林地もみられる。そのため、忌避剤塗布、防護柵設置などの造林木の被害対策に多くの経費が掛かっている。天然林においても樹皮等の食害により枯損する樹木が発生し、その被害が年々拡大している。このため、ニホンジカの嗜好性や踏みつけ等による植生への影響を観察し、ニホンジカの高密度生息地における天然更新施業の基礎資料を収集・分析する。

3) 出現する可能性のある樹種の特性

対象地域において天然更新で出現する可能性のある樹種の特性を図鑑等で調査し、取りまとめた。造林樹種も人工林から種子が散布される可能性があるので対象に含めた。その結果を表-II-1に示す。種名・種の配列は、佐竹ら編（2002）に拠った。生活型は、浅野・桑原編（1990）と、沼田・吉沢編（2002）に拠った。また、生活型のうち繁殖型・生育型について、表中の種はすべてR₅（地下や地上に連絡体をつくらず単立（主根と側根からなるふつうの根）しているもの）・e（直立型（地上部の主軸がはっきりした直立性のもの））に属する。果実・性は、橋詰ら（1997）に拠った。陰陽・乾湿・成長は、林（1969）に拠った。

表 II-1 出現する可能性のある樹種特性一覧

種名	生活型		果実	性	陰陽	乾	湿	成長
	休眠型	散布器官型						
カラマツ	MM	D ₁	毬果	雌雄同株	陽	適潤		
スギ	MM	D ₁	毬果	雌雄同株	陽	適潤またはやや湿潤		
ヒノキ	記述なし		毬果	雌雄同株	陰	適潤		
モミ	MM	D _{1,4}	毬果	雌雄同株	陰	適潤		
ツガ	MM	D _{1,4}	毬果	雌雄同株	中庸	適潤またはやや乾燥		
ネズコ (クロベ)	MM	D ₁	毬果	雌雄同株	陰	適潤		
オニグルミ	MM	D ₄	核果様堅果	雌雄同株	陽	湿潤	早	
サワグルミ	MM	D ₁	堅果	雌雄同株	中庸	湿潤	早	
バッコヤナギ (ヤマネコヤナギ)	MM	D ₁	蒴果	雌雄異株	陽	適潤またはやや湿潤	やや早	
ウダイカンバ	MM	D ₁	堅果	雌雄同株	陽	適潤	早	
シラカンバ	MM	D ₁	堅果	雌雄同株	陽	適潤またはやや湿潤	早	
ダケカンバ	MM	D ₁	堅果	雌雄同株	陽	適潤	早	
オノオレカンバ	非 掲 載	非	掲 載	陽	適潤またはやや乾燥	やや早		
ミズメ	非 掲 載	非	掲 載	陽	適潤	早		
サワシバ	MM	D ₁	堅果	雌雄同株	中庸	適潤またはやや湿潤	やや早	
クマシデ	MM	D ₁	堅果	雌雄同株	中庸	適潤またはやや湿氣ある		
アカシデ	MM	D ₁	堅果	雌雄同株	中庸	適潤	早	
イヌシデ	記述なし		堅果	雌雄同株	中庸	適潤	早	
ブナ	MM	D ₄	堅果	雌雄同株	陰	適潤またはやや湿氣ある	比較的遅	
イスブナ	MM	D ₄	堅果	雌雄同株	陰	やや湿氣ある	やや遅	
ミズナラ	MM	D ₄	堅果	雌雄同株	陽	適潤	早	
クリ	MM	D ₄	堅果	雌雄同株	陽	適潤	早	
ケヤキ	MM	D ₄	瘦果	雌雄同株・単性花／両性花	陽	適潤	やや早	
オヒヨウ	MM	D ₁	翼果	両性花	中庸	適潤またはやや湿氣ある		
ヤマグワ	MM	D ₂	液質の集合果	雌雄異株	中庸	適潤またはやや湿氣ある	やや早	
ホオノキ	MM	D ₄	袋果	両性花	陽	適潤	早	
フサザクラ	MM	D _{1,4}	翼果	両性花	陽	水湿の多い	早	
カツラ	MM	D ₄	袋果	雌雄異株	中庸	水湿に富む	早	
ナツツバキ	MM	D ₄	蒴果	両性花	中庸	適潤またはやや湿氣ある	やや早	
ウワミズザクラ	MM	D _{2,4}	核果	両性花	陽	適潤またはやや湿氣ある	やや早	
オオヤマザクラ	MM	D _{2,4}	核果	両性花	陽	適潤またはやや乾燥	やや早	
ヤマザクラ	MM	D _{2,4}	核果	両性花	陽	適潤またはやや乾燥	早	
ナナカマド	MM	D _{2,4}	梨果	両性花	中庸	適潤	やや遅	
オオウラジロノキ	非 掲 載	非	掲 載	陽	やや乾燥			
シラキ	MM	D ₄	非	掲 載	陽	やや湿氣ある		
キハダ	MM	D ₄	核果	雌雄異株	陽	適潤またはやや湿氣ある	早	
イロハモミジ	MM	D _{1,4}	翼果	雄花と両性花雜居	陽	多少湿氣ある	早	
オオモミジ	MM	D _{1,4}	イロハモミジの変種に分類		イロハモミジの変種に分類			
コハウチワカエデ	MM	D _{1,4}	翼果	雄花と両性花雜居	中庸	適潤	やや早	
ヒナウチワカエデ	記述なし		非	掲 載	非	掲 載		
オオイタヤメイゲツ	MM	D _{1,4}	非	掲 載	中庸	適潤		
ハウチワカエデ	MM	D _{1,4}	翼果	雄花と両性花雜居	中庸	多少湿氣ある	やや早	
ウリハダカエデ	MM	D _{1,4}	翼果	雌雄異株	陽	適潤またはやや湿氣ある	やや早	
ホソエカエデ	非 掲 載	非	掲 載	中庸	やや湿氣の多い			
ミネカエデ	記述なし		非	掲 載	非	掲 載		
コミネカエデ	M	D _{1,4}	非	掲 載	非	掲 載		
ヒトツバカエデ (マルバカエデ)	記述なし		非	掲 載	中庸	やや湿氣ある	やや早	
チドリノキ (ヤマシバカエデ)	MM	D _{1,4}	非	掲 載	陰	湿氣ある	やや早	

表 II-1 出現する可能性のある樹種特性一覧 (つづき)

種名	生活型		果実	性	陰陽	乾	湿	成長
	休眠型	散布器官型						
イタヤカエデ	MM	D _{1,4}	翼果	雄花と両性花雜居	陽	やや湿気ある		早
メグスリノキ	MM	D _{1,4}	非	掲 載	中庸	湿気ある		やや早
ミツデカエデ	MM	D _{1,4}	非	掲 載	中庸	湿気ある		早
トチノキ	記述なし		蒴果	雄花と両性花雜居	陰	やや湿気ある		やや早
アワブキ	MM	D _{2,4}	核果	両性花	陰	適潤		比較的早
アオハダ	MM	D _{2,4}	核果	雌雄異株	中庸	適潤		中位
マユミ	記述なし		蒴果	両性花	中庸	やや湿気ある		中位
ツリバナ	M	D ₄	蒴果	両性花	記述なし	適潤		早
シナノキ	MM	D ₄	堅果	両性花	中庸	適潤		
ミズキ	MM	D _{2,4}	核果	両性花	中庸	湿気ある		早
ヤマボウシ	MM	D _{2,4}	核果の集合果	両性花	中庸	適潤またはやや湿気ある		中位
コシアブラ	MM	D _{2,4}	液果状	両性／単性	陽	適潤またはやや乾燥		やや早
タカノツメ	非掲載		液果状	両性花	陰	やや乾燥		やや早
ハリギリ (センノキ)	MM	D _{2,4}	液果状	両性花	陽	やや湿気ある		早
リョウブ	M	D _{1,4}	蒴果	両性花	陽	適潤またはやや乾燥		中位
チチブドウダン (ベニドウダン)	非掲載		蒴果	両性花	非掲載			
アセビ	M	D ₄	蒴果	両性花	中庸	適潤		
ハクウンボク	非掲載		核果	両性花	陽	適潤		中位
コハクウンボク	非掲載		核果	両性花	陽	適潤		
オオバアサガラ	非掲載		核果	両性花	陽	やや湿気ある		
シオジ	非掲載		翼果	雌雄異株	中庸	やや湿気ある		中位
アラゲアオダモ (ケアオダモ)	非掲載		翼果	雌雄異株	陽	適潤		
ムラサキシキブ	M	D ₂	非掲載	非掲載	非掲載			

●休眠型【MM…休眠芽が地表面上 8~30m 及びそれ以上のもの（中高木・大高木、中型・大型地上植物）／M…休眠芽が地表面上 2~8m にあるもの（小高木・小型地上植物）】

●散布器官型【D₁…果実や種子が微細で軽かったり、冠毛、羽毛状、翼などをもつていて、風や水によって運ばれるもの／D₂…果実が動物にたべられて種子だけが排出されたり、カギ、針、粘液などで動物や人体に付着して運ばれるもの／D₄…とくに散布のしくみがなく、重力にしたがって、その周辺に落下するもの】

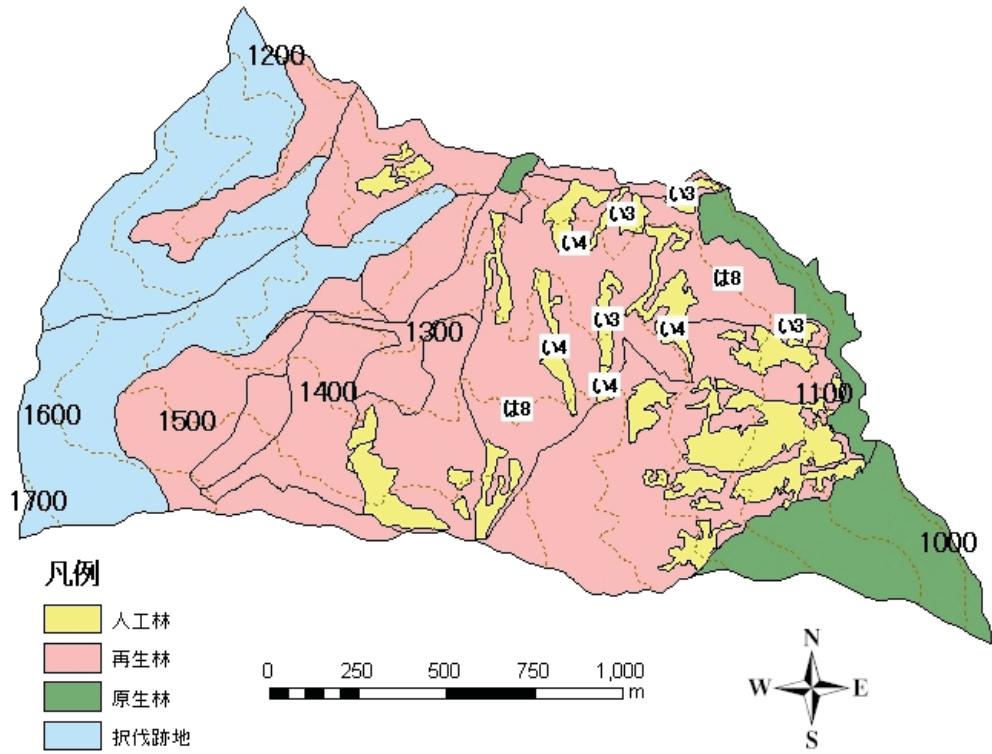


図-II-1 秩父演習林 25 林班い 3, い 4, は 8 小班の位置

3. 対象地と使用データ

1) 対象地の概況

本調査の対象地は埼玉県秩父市にある東京大学秩父演習林（以下、秩父演習林とする）の 25 林班（図-II-1）である。25 林班の面積は 258.00ha（河川敷 0.97ha, 道路敷 0.17ha を含む）である。25 林班の地況については秩父演習林の森林調査簿からの抜萃を以下に記す。基岩は「秩父古生層に属し粘板岩, 硬砂岩（24 林班界付近), 黒色千枚岩(赤沢谷), 緑色珪質板岩, 輝緑凝灰岩（粘板岩層に平行して赤沢谷の粘板岩

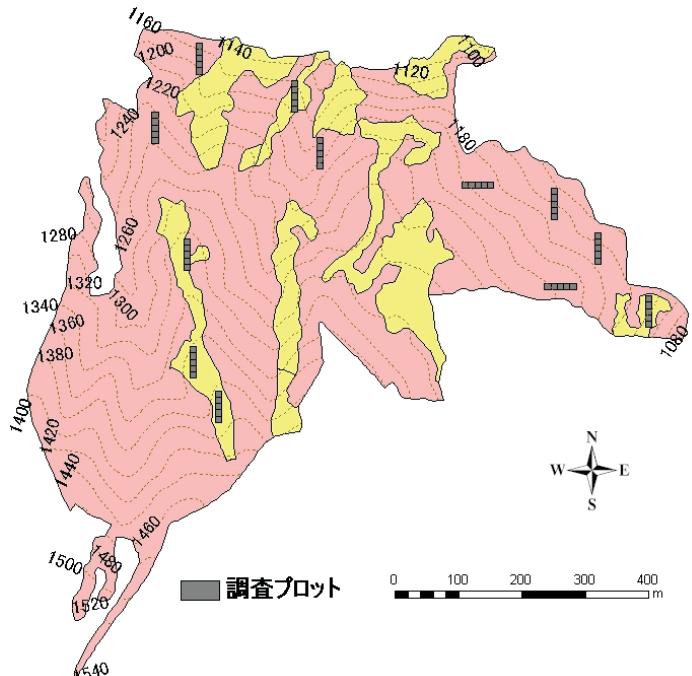


図-II-2 調査プロットの位置
い 3, い 4, は 8 小班だけを表示した。5 個連続している灰色の正方形各 1 個が 1 プロットを表わす。

層に連なる)等より成り立つ。土壤は「埴質壤土を主とし埴土, 砂質壤土が散在する。砂礫の混入は少なく土層は頗る深い」。地形は「赤沢谷の右岸地域で, 標高938~1,742mの間を占める。地形は概して緩慢で急峻の箇所は少ない。赤沢谷は緩流で崖地や滝等が少ない。傾斜方向は全体的に北に傾くが部分的には北東30%, 北30%, 東30%, 南東10%である」。気象は「陽光は不十分な箇所もあるが赤沢谷が南東に流れるため気象の条件は良く, 比較的寒冷の度は少ない」。気象について柄本観測所(標高770m)における1986~2000年の観測データで補足すると, 年平均気温は10.7°C, 最暖月(8月あるいは7月)と最寒月(1月あるいは2月)の平均気温がそれぞれ22.2°C, 0.3°C, 平均年降水量は1,338mmである(東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林秩父演習林, 2002)。また, 平年の降雪期間は12月~3月で, 積雪量は20~30cmである(東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林秩父演習林, 2002)。

秩父演習林の第9期試験研究計画(2001~2010年度)において25林班はさらに25個の小班に分割されている(図-II-1)。人工林(い小班)は8小班30.30haであり, 樹種は主にカラマツとヒノキからなる。図-II-1からわかるように, 人工林として残っている部分はある程度のまとまりを持ちつつも散らばって存在している。広葉樹主体の再生林(は小班)は12小班135.79haであり, これらは以前人工林に区分されていたが不成績のために再生林として区分されたものである。この不成績の原因として撫育作業の不充分さと植栽樹種の選定の誤りが挙げられている(赤岩ら, 1987)。広葉樹主体の原生林(ろ小班)は3小班30.23haであり, 人工林・広葉樹主体の再生林はもともとこの原生林と同じ状態であったと考えられる。参考までに, 25林班から近い27林班ろ1小班, 28林班ろ1小班の極相林に設定された大面積長期生態系プロットの林分構造は, イヌブナ, ブナ, ツガを主体として, ギャップにシオジやメグスリノキなどが交じっている(澤田ら, 2005; 2006)。択伐跡地(り小班)は2小班60.54haであり, 大径の良木(主にツガやモミ)を選択的に伐採した跡地である。

2) 使用データ

デジタルデータとして国土地理院の1/25,000地形図の等高線をデジタル化して作成された空間解像度10mのDEM(Digital Elevation Model: 数値標高モデル)を用いた。あわせて秩父演習林のGISデータを利用した。解析に用いたGISソフトウェアは米国ESRI社製ArcGIS9.1(ESRI, 2005)である。

4. 方法

1) 現地調査

毎木調査は25林班い3, い4, は8小班のヒノキ造林地で行った(図-II-2)。は8小班は以前, い3, い4, い5小班の一部だったところが不成績のため再生林に区分され

たものである。これらの小班の施業履歴を表-II-2に示す。現地にプロットを設定するに当たり、空間解像度10mのDEMに重なるように、プロット(10m×10m)の4隅の点をDGPS(Differential Global Positioning System)受信機(Trimble Navigation LimitedのGPS Pathfinder Pro XR)と光波測距儀(Laser Technology Inc.のImpulse 200 LR),電子コンパス(Laser Technology Inc.のMapStar System Electronic Compass Module II)を用いて特定した。これにより、立地条件を表わす因子がプロットごとに求められる。プロットを設定する際の手間を省くため、10m×10mのプロットを連続して5つ(10m×50m)取ることにし、合計60個のプロットを設定した(図-II-2)。プロット内では胸高直径(胸高を1.3mとする)3cm以上の生立木全てについて、樹種・胸高直径・樹高(樹木の根元から梢端までの直線距離)を記録した。胸高直径の測定には0.1cm括約の輪尺(Haglöf Sweden ABのMantax Precision Caliper)を使用し、樹木を山側とその直交方向からの2方向で測定して、2つの値の算術平均をその樹木の胸高直径とした。樹高の測定には精度10cmの超音波測高計(Haglöf Sweden ABのVertex III)を使用した。

表-II-2 対象地の施業履歴

実施年度	い3小班	い4小班
1954	地拵	
1955	新植・下刈	地拵・新植
1956	下刈	新植・補植・下刈
1957	補植・下刈	補植・下刈
1958	補植・下刈	補植・下刈
1959	下刈	下刈
1960	下刈	補植・下刈
1961	下刈・蔓切	下刈
1962		下刈
1964	蔓切	蔓切
1965	除伐	除伐
1966		除伐
1970	蔓切	蔓切
1971	蔓切	
1977		蔓切

毎木調査を実施した第1~10プロットの近辺で侵入木(ミズキ2本, ミズメ1本)の樹幹解析を行なった。まず、樹木の主幹に沿って巻尺で樹長を1cm単位で測定した。円板の採取位置は樹長0.0m(根元), 0.3m, 1.3m, 3.3m, …と1.3m以上では2m間隔で採取し

ていき、円板の位置が梢端まで 3m 以下になつたらそこから 1m 上の円板を採取した。根元の円板の年輪数をその樹木の樹齢とみなした。また、各円板について樹齢 5 年時、10 年時、15 年時、…というように 5 年おきの年輪と一番外側の年輪（樹皮を含む）の中心からの距離を 0.1cm 括約で山側と谷側、また山側と谷側を結ぶ直線の直交方向からの 4 方向で測定した。この 4 つの値の算術平均をある長さにおけるある樹齢での半径とした。この値を基に樹幹解析図（横軸に半径、縦軸に樹長をとった図）を作成し、この図上で 1 つ外側の樹齢に対応する線に平行な線を引き、幹軸と交わる点がある樹齢における樹長とした（南雲、1990）。ただし、こうして算出した樹長が、その樹齢に対応する年輪がみられない円板の最も低い採取位置を超える場合には、その円板の採取位置を樹長とした。この樹幹解析データに加え、1999 年に秩父演習林の 27 林班い 1 小班の不成績造林地を対象に行われた樹幹解析データ（ミズメ 1 本、キハダ 1 本、シラカンバ 1 本）を使用した。

2) 数値標高モデルおよび主題図の作成

25 林班の造林地（い・は小班）全体に対し、立地条件を表わす標高・斜面傾斜角・集水域積算・水湿指数・陰影起伏・曲率の 6 種類の因子を ArcGIS Spatial Analyst を用いて DEM から算出した。標高は DEM の値そのものであり、主に気温と関係する。斜面傾斜角はあるセルとそれを取り囲む 8 方向のセルの標高から計算され、水文環境と光環境に関係する。集水域積算は全てのセルの水がより標高の低いセルへ流入することを仮定した場合の、あるセルに流入するセル数の合計を示し（Jenson and Domingue, 1988），水文環境を表わす因子である。水湿指数は土壤水分量と地表面の飽和帶を表わす値であり（Moore et al., 1991），集水域積算と同じく水文環境に関わる因子であるが、集水域積算と斜面傾斜角を考慮して(1)式により求められる。

$$W = \ln\left(\frac{F+1}{\tan S}\right) \quad (1)$$

ここで、 W は水湿指数、 F は集水域積算、 S は斜面傾斜角を表わす。水湿指数は値が大きいほど水湿に富むことを示す。陰影起伏は仮想的に光源の位置を設定して、斜面と周囲の山地の状態を基に各セルの光条件を表わしたものであり、(2)式により求められる。

$$R = 255 \{ \cos s \sin S \cos(A-a) + \sin s \cos S \} \quad (2)$$

ここで、 R は陰影起伏、 A は斜面方位角、 s は光源の高度角（水平からの角度）、 a は光源の方位角（北からの角度）を表わす。 A については DEM から求め、 s, a については Iverson et al. (1997) が森林の種組成と生産力（地位指数）を推定するために使用した値 ($s=202$ (度), $a=45$ (度)) を採用した。陰影起伏は値が大きいほど光がよく当たることを示す。曲率は斜面傾斜角と同様に、あるセルとそれを取り囲む 8 方向のセルの標高から計算され、斜面の凹凸状態を表わす。値が 0 の時は平坦であり、これを境に正ならば凸、負ならば凹であることを示す。

3) 地位指数推定モデルの作成

本調査では各プロット内に生育する侵入木の最大樹高を地位指数と定義することにする。この際、基準となる年齢を定める必要があるが、後の過程で地位指数ごとに樹高成長曲線から地位指数曲線を作成することを考慮し、一般に用いられる基準林齢ではなく、基準樹齢を用いることにした。表-II-2より、調査プロット全体に下刈・除伐が実施され、除伐終了時（除伐実施年の翌年）から樹木の侵入が開始したと仮定し、侵入木の基準樹齢を42年とした。

次に、毎木調査を行った各プロットについて、前節で述べた6種類の因子を説明変数とし、侵入木の地位指数を目的変数として回帰木による分類を統計ソフトウェアR（R Development Core Team, 2006; version 2.4.1）のパッケージmvpard（De'ath, 2007; version 1.2-6）の関数mvpardを用いて行った。6種類の因子の相関係数を表-II-3に示す。回帰木の決定では、全60プロットを用い、誤差が最小のものを選んだ。分類に用いるデータセットは10重交差確認法により、1つのテスト用データと9つの学習用データにランダムに分けられ、10回のモデル構築とテストを行うことで全体の評価が行われる。すなわち、誤差が最小のものを選んでも、生成される回帰木は毎回異なる可能性がある。そこで、本調査ではmvpardによる回帰木の生成を複数回繰り返して、適当な回帰木のサイズを決定した。

表-II-3 環境因子間の相関係数

	標高	斜面傾斜角	集水域積算	水湿指數	陰影起伏
斜面傾斜角	-0.648				
集水域積算	-0.300	0.223			
水湿指數	0.059	-0.238	0.787		
陰影起伏	0.622	-0.629	-0.101	0.174	
曲率	0.235	-0.299	-0.510	-0.411	0.092

4) 地位指数曲線の作成

侵入木の樹幹解析データから求めた樹高成長過程に対してRのパッケージstatsの関数nlsにより、(3)式で表わされるリチャーズ関数（Richards, 1959）を当てはめた。

$$h = M(1 - e^{-kt})^{\frac{1}{1-m}} \quad (3)$$

ここで、 h は樹高(m), t は樹齢(年), M , k , m はパラメータを表わす。一般にはリチャーズ関数は以下の形で表わされる。

$$h = M(1 - Le^{-kt})^{\frac{1}{1-m}} \quad (4)$$

$$h = M \left\{ 1 - e^{-k(t-t_0)} \right\}^{\frac{1}{1-m}} \quad (5)$$

ここで、 L , t_0 は初期状態に関するパラメータである。しかし本調査では、 $t=0$ の時に $h=0$ とするためにパラメータが1つ少ない(3)式を用いた。樹幹解析データをリチャーズ関数に当てはめる際には、樹木1本ごとにまとまつたデータとは捉えず、ある樹齢における樹高のデータの集まりとして扱った。また、侵入木の樹幹解析データは全て、60プロットのうち少なくとも1つで最大樹高を持つ樹種（全18種）の樹幹解析データである。データから導出したリチャーズ関数が描く樹高成長曲線（ガイドカーブ）を、回帰木により分類された地位指数に合うように M の値を変え、侵入木の各地位指数に対応した地位指数曲線を作成した。 M は最大値に関するパラメータであるので、地位指数曲線は元のガイドカーブの形状を維持している。ところで、樹幹解析データから樹高成長曲線を導出する際に、樹長と樹高の相違の問題が生じる。先に述べた樹幹解析データから得られる成長過程の情報はあくまで樹長についてのものである。鉛直方向に成長するスギやヒノキなどの造林木では樹長と樹高がほぼ等しいとみなしてよいが、枝張りが大きい広葉樹を主体とする侵入木の樹幹解析データでは樹長をそのまま樹高とみなすことはできない。そこで、侵入木全てが平均的な一定の角度 θ （斜面の下部方向を正とする）で鉛直方向に対して傾いていると仮定する。ある樹木の樹長を l とすると、

$$h = l \cos \theta \quad (6)$$

と書くことができる。よって、樹幹解析データから得られた樹長成長曲線に一定の係数 $\cos \theta$ を乗じることで樹高成長曲線が得られることになる。しかし、前述したように、樹幹解析データからガイドカーブを導出し、回帰木で分類されたそれぞれの地位指数に合うように地位指数曲線を作成するので、 $\cos \theta$ を乗じる過程は M の値を変化させることにより省略することができる。こうした理由により、樹幹解析データから直接、樹高成長曲線を求めた。

表-II-4 各樹種の出現状況

樹種	断面積混交割合(%)	出現プロット数
ヒノキ	28.14	54
ウダイカンバ	7.62	21
サワグルミ	6.73	12
ミズキ	5.11	21
オオバアサガラ	4.89	17
ミズメ	4.65	39
ウリハダカエデ	4.39	23
ウワミズザクラ	4.12	34
コシアブラ	3.95	25
コミネカエデ	3.17	31
ホオノキ	2.93	32

5. 結果

1) 現地調査の結果

現地調査を行った結果、プロットに出現した主要な樹種は表-II-4 のようになつた。表-II-4 では各樹種の平均断面積割合と 60 プロット中出現したプロットの数を示す。これらのうちヒノキは造林木で、他の広葉樹は侵入木である。表-II-1 に示した樹種の特性によれば、これらの侵入樹種はいずれも陽性または成長が早いという性質を持っている。



写真-II-1 対象地の様子

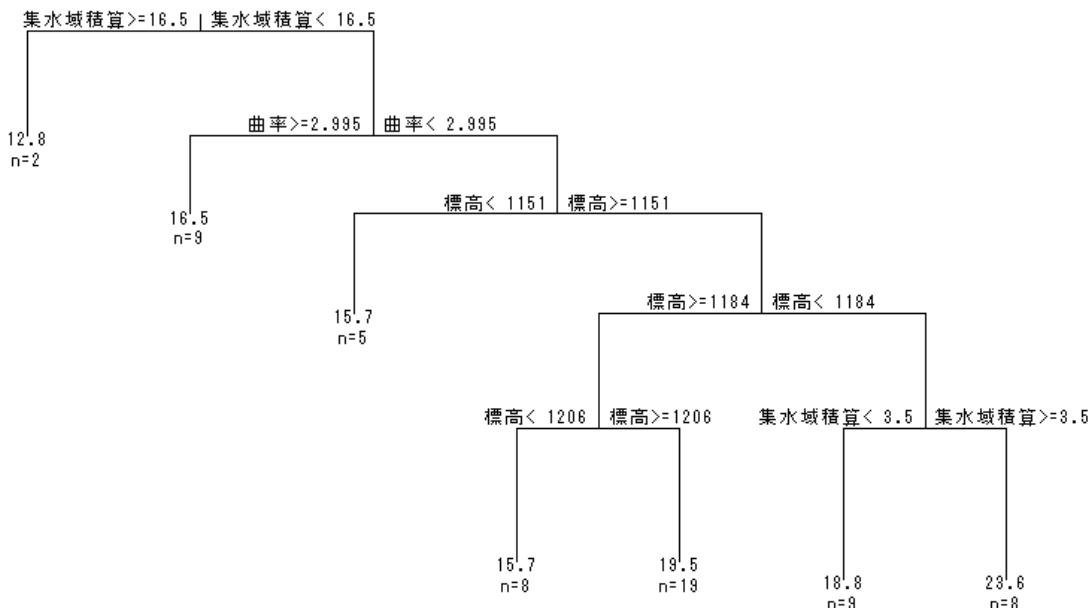


図-II-3 侵入木地位指数の回帰木

回帰木の葉の下にある数値は地位指数の予測値とデータ数を示す。

2) 地位指標と環境因子との関係

侵入木の地位指標に関する図-Ⅱ-3の回帰木が得られた。侵入木地位指標の回帰木は生成を複数回繰り返しても図-Ⅱ-3と同じものが得られた。侵入木の地位指標は集水域積算・曲率・標高に影響を受ける結果となった。表-Ⅱ-3によると、これら3つの因子間の相関係数は最大で-0.51であり、3つの因子の間には高い相関関係はみられなかった。60プロットにおいて、分類された侵入木の地位指標（予測値）あるほとんどのプロット

侵入木の樹幹解析データにリチャーズ関数を当てはめた結果 パラメータ M 、 k 、 m の値

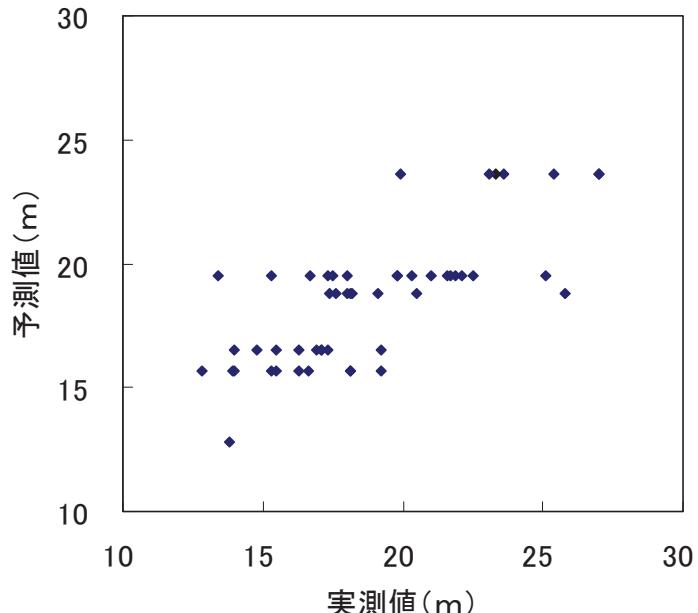


図-II-4 侵入木地位指数の実測値と予測値の関係

はそれぞれ 24.51, 0.034, 0.14 となった。これらのパラメータを持つ樹高成長曲線をガイドカーブとして、回帰木により分類された地位指数に合うように調整した M の値が表-II-5 である。上記 k , m と表-II-5 の M の値を(3)式に代入することで、地位指数に対応した地位指数曲線が得られる（図-II-5）。

侵入木の地位指数を推定するための回帰木を GIS 上で 25 林班の造林地に適用した結果、図-II-6 が得られた。図-II-6 から侵入木の成長が早い箇所や遅い箇所を把握することができる。

表-II-5 各地位指数に合うよう
に調整されたリチャーズ関数のパラ
メータ M の値

地位指数	M
23.6	32.44
19.5	26.80
18.8	25.84
16.5	22.68
15.7	21.58
12.8	17.59

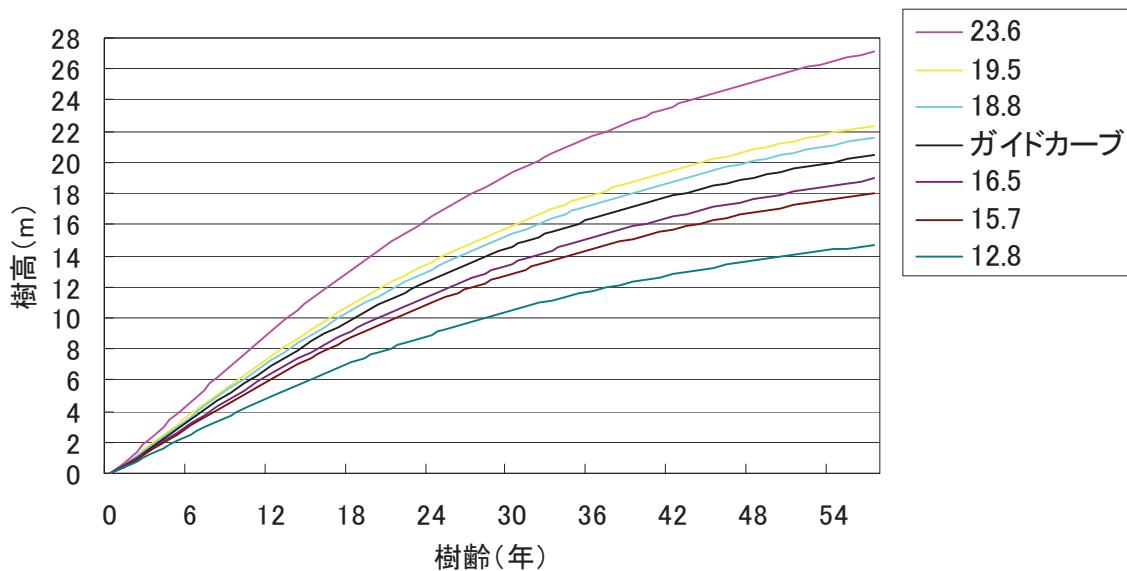


図-II-5 侵入木の各地位指数に対応する地位指数曲線

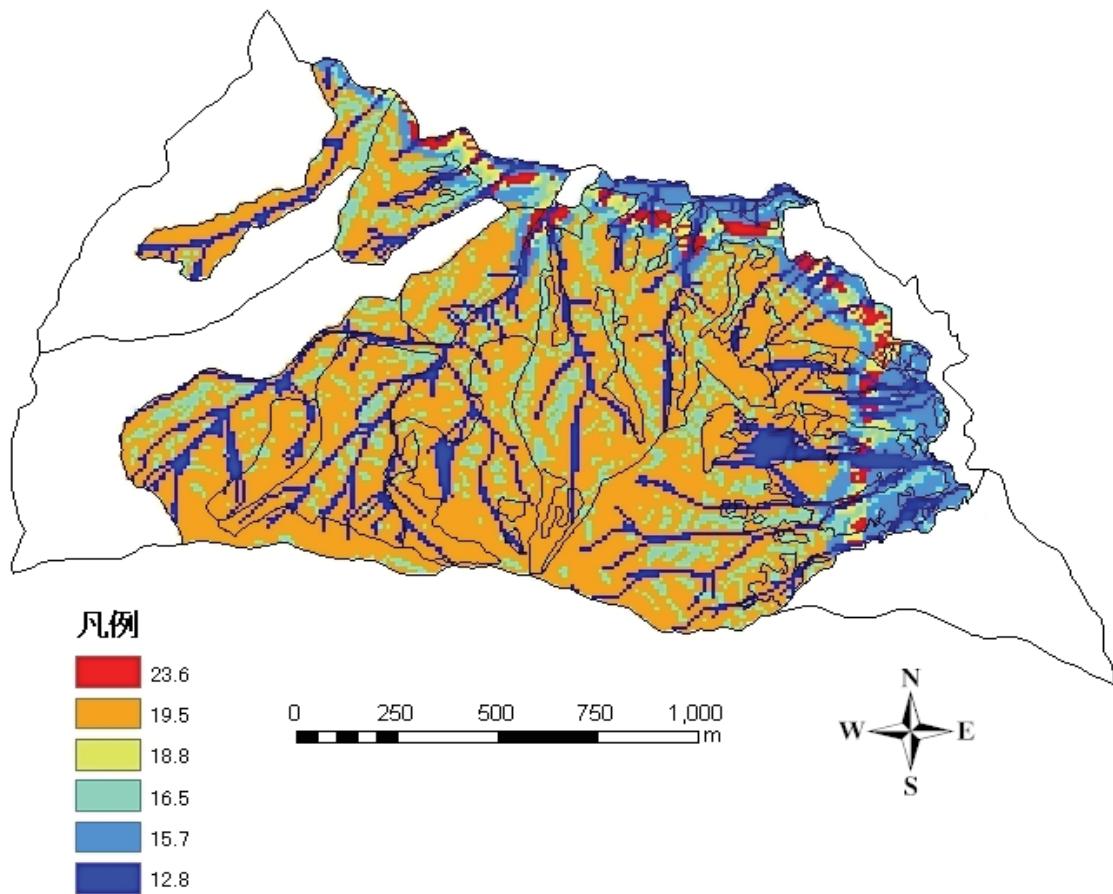


図-II-6 25 林班造林地における侵入木地位指数の分類

6. 考察

地位指数を立地条件に関する因子から推定する手法については、日本では古くから数量化 I 類による方法（西沢ら, 1965 ; 渡辺ら, 1966）が用いられている。しかし、この方法において土壌型や土性などの土壤に関する因子を用いると、現地における詳細な調査が必要になり相当な労力が伴う。そこで、GIS を用いて DEM から簡単に計算できる値を因子として地位指数を推定する方法（Mitsuda et al., 2001 ; 美濃羽ら, 2005a ; 2005b）が用いられてきている。本調査もこの方法を採用しているが、地位指数の分類には回帰木を用いた。回帰木の利点としては、数量化 I 類と違って各因子のカテゴリー分けが恣意的にならず、また各因子のカテゴリーの組み合わせが膨大な数にならず分類数が少なくて済むこと、一般の重回帰分析では表現できない非線形の関係が表現できること、ニューラルネットワークに比較して容易に利用できることなどが挙げられる。

これまで述べた手法は一般に造林木に適用されるものであり、こうした手法を侵入木に適用した先行研究はほとんどみられない。この理由として、天然更新によって定着した樹木はそれぞれに樹齢が異なるので、年齢を基にした地位指数は適用しにくいことが考えられる。西沢（1972）が、異齡林では上層木の平均胸高直径と平均樹高の関係から地位指数

曲線を作成すると説明していることもこれを裏づけている。しかし、造林地において施業履歴が明らかになっている、もしくは樹幹解析から施業履歴を推定できるならば、上層に到達する樹木が侵入を開始した時期をある程度推測することは可能である。本調査では除伐終了時から（最大樹高を持つ）樹木の侵入が開始するとしたが、この仮定は妥当であると考えられる。

毎木調査を行った 60 プロットに出現した侵入木は 70 種であり、このうち少なくとも 1 プロットで最大樹高を持つ樹種は 18 種であった。それぞれの樹種で更新特性、成長速度、耐陰性などが異なると考えられるが、本調査では樹種を考慮せずに侵入木として一括して扱った。本調査で用いた地位指数曲線は各樹木の成長過程に関わらず、侵入木の最大樹高の変化を表わしているといえる。最大樹高を持つ侵入木に着目する限りでは、個々の樹種の更新特性や耐陰性はあまり問題にならないと考えた。

7. おわりに

本章では奥秩父地方において拡大造林後に広葉樹が侵入した林分を対象とし、林地の立地条件と侵入木による更新状況との関係を定量的に解析した。不成績造林地内でプロットを設置し、種組成を調査した。侵入木の最大樹高の成長曲線を地位指数曲線とみなし、侵入木の地位指数および地位指数曲線を求めた。他方、GIS を用いて DEM を作成し、DEM から環境因子の主題図を作成した。侵入木の地位指数を目的変数、環境因子を説明変数として、回帰木による分類を行って地位指数の推定モデルを作成した。このモデルにより侵入木の地位指数をほぼ ± 3 m 以内で推定することができた。

このモデルにより天然更新木の成長の早い林地や遅い林地を推定することができる。さらに、地位指数曲線と組み合わせることにより指定した更新開始後の年数に対応した更新木の最大樹高を推定することが可能である。しかし、この地位指数曲線は造林木がある場合の侵入木の樹高成長経過から作成されたため、伐採跡地に更新する樹木の樹高成長とは若干異なる可能性があるので注意が必要である。

8. 引用文献

- 赤岩朋敏・中山勇・斎藤登（1987）秩父演習林における奥地造林の現状. 昭和 61 年度試験研究会議報告（東大演習林）：11-24.
- 浅野貞夫・桑原義晴編（沼田真監修）（1990）日本山野草・樹木生態図鑑 シダ類・裸子植物・被子植物（離弁花）編. 664pp, 全国農村教育協会, 東京.
- De'ath, G. (2007) The mvpart package. <http://cran.r-project.org/doc/packages/mvpart.pdf>. (2008 年 1 月 22 日取得)
- ESRI (2005) ArcGIS 9.1. Environmental systems research institute, Redlands, CA, USA.

長谷川幹夫 (2005) 多雪地の皆伐跡地における更新作業の違いが森林の種組成と更新木の密度に及ぼす影響. 森林立地 47 : 9-20.

橋詰隼人・中田銀佐久・新里孝和・染郷正孝・滝川貞夫・内村悦三 (1997) 図説実用樹木学. 214pp, 朝倉書店, 東京.

林弥栄 (1969) 有用樹木図説 (林木編). 472pp, 誠文堂新光社, 東京.

石橋整司・齋藤俊浩・大村和也・澤田晴雄 (2004) スギ・ヒノキ人工林伐採直後の更新状況. 日本林学会関東支部大会発表論文集 55 : 53-56.

Iverson, L. R., Dale, M. E., Scott, C. T. and Prasad A. (1997) A GIS-derived integrated moisture index to predict forest composition and productivity of Ohio forests (U.S.A.). *Landscape Ecology* 12: 331-348.

Jenson, S. K. and Domingue, J. O. (1988) Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54: 1593-1600.

小谷二郎 (1990) 積雪地帯における広葉樹林造成・改良技術. 石川県林業試験場研究報告 21: 1-13.

小谷二郎・千木容 (2004) 針葉樹人工林の伐採跡地の更新と管理方法に関する研究. 石川県林業試験場業務報告 41 : 2.

小谷二郎・千木容 (2005) 針葉樹人工林の伐採跡地の更新と管理方法に関する研究. 石川県林業試験場業務報告 42 : 2.

小谷二郎 (2005) スギ人工林の伐採跡地の更新に対する埋土種子由来の樹木群集の役割. 日本森林学会大会講演要旨集 116 : CD-ROM.

小谷二郎・千木容 (2006) 針葉樹人工林の伐採跡地の更新と管理方法に関する研究. 石川県林業試験場業務報告 43 : 3.

小谷二郎 (2006) スギ人工林の伐採跡地更新. 石川県農林水産研究成果集報 8 : 22.

前田雄一 (1992) 鳥取県扇ノ山におけるスギ不成長地の現状と有用広葉樹の動態. 森林立地 34: 43-49.

美濃羽靖・鈴木倫史・田中和博 (2005a) ニューラルネットワークを応用した地位指数の推定. 森林計画学会誌 39: 23-38.

美濃羽靖・鈴木倫史・田中和博 (2005b) 機械学習システム C4.5 を用いた地位指数の推定. 森林計画学会誌 39: 143-156.

Mitsuda, Y., Yoshida, S. and Imada, M. (2001) Use of GIS-derived environmental factors in predicting site indices in Japanese larch plantations in Hokkaido. *Journal of Forest Research* 6: 87-93.

Moore, I. D., Grayson, R. B. and Ladson A. R. (1991) Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological*

Processes 5: 3-30.

南雲秀次郎 (1990) 樹幹解析. (測樹学. 南雲秀次郎・箕輪光博, 243pp, 地球社, 東京.)

138-146.

西沢正久 (1972) 森林測定. 348pp, 農林出版, 東京.

西沢正久・真下育久・川端幸藏 (1965) 数量化による地位指数の推定法. 林業試験場研究報告 176: 1-54.

沼田真・吉沢長人編 (日本植物調節剤研究協会企画) (2002) 新版日本原色雑草図鑑. 414pp, 全国農村教育協会, 東京.

R Development Core Team (2006) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

Richards, F. J. (1959) A flexible growth function for empirical use. Journal of Experimental Botany 10: 290-300.

林野庁関東森林管理局森林技術センター (2007) 技術開発課題 .
http://www7.ocn.ne.jp/~gijutuc/kadai/f_kadai.html. (2008年1月22日取得)

佐竹義輔・原寛・亘理俊次・富成忠夫編 (2002) フィールド版日本の野生植物 木本. 848pp, 平凡社, 東京.

東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林秩父演習林 (2002) 秩父演習林第9期試験研究計画 (自平成13年度至平成22年度). 演習林 (東大) 41: 1-66.

渡辺定元・田中正則・若月勇 (1966) 地位指数調査の実際 —数量化による地位指数の推定法について—. 233pp, 日本林業調査会, 東京.

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 —スギ造林の現状と広葉樹の活用—. 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.

III. 残存天然生林分から人工林伐採跡地への林縁効果（伊藤哲） —九州地方における調査事例—

1. はじめに

平成 18 年度の報告では、九州地方の再造林放棄地（造林未済地）の植生回復状況の調査事例から、天然力を活用した更新技術の構築のための基礎的知見を分析した。その中で、人工林伐採後の森林再生においては、地形等の自然的な立地要因よりも伐採時の林分構造やそれまでの施業履歴、あるいは人工林化される前の土地利用などの人為的な要因が大きく影響すること、また早期の森林回復には人工林の林床に成立する前生樹群が大きな役割を果たすこと、さらに、伐出路の開設が伐採後の森林の再生に強く影響を与えること、の 3 点を報告した。これらの結果を踏まえると、今後検証あるいは情報収集をすべき課題として、以下の 5 点が挙げられる。

- 1) 地域性を考慮した様々な事例やより長期的な観察の事例を積み上げ、そこから得られる知見を普遍的な現象とローカルな要因によるものとに整理していくこと。
- 2) 生物的な要因として、種子移入に対する母樹や隣接天然林の効果を分析すること。
- 3) 物理的な要因として、地質の違いや皆伐時の伐出路開設に伴う土壤環境の改変の影響を解明すること。
- 4) 人為的な更新促進手段として、伐採方法の改善の効果等を検証すること。
- 5) 阻害要因（主に生物的な要因）として、ササ類・シダ類の繁茂やシカによる食害の影響を評価すること。

これらの課題の中で、本年度は特に 1) 様々な事例の情報収集、および 2) 隣接天然林からの生物的林縁効果について情報収集・調査を行った。本章では、まず最新の関連論文および試験研究事例のレビューに基づいて最近の知見を整理するとともに、隣接天然林からの林縁効果に関するケーススタディの結果を報告する。

2. 既往文献調査

ここで取り上げる情報は、2006年に発表された論文 2 編と、平成 19 年度時点で完了または継続中の試験研究課題 3 件である。いずれも最近の報告であり、広域を対象とした網羅的な研究や、大規模な調査または操作実験による成果である。

（1）論文

- 1) 九州における針葉樹人工林および皆伐後再造林未済地に定着した樹木の本数密度の予測（齊藤 哲ら（2006）日本森林学会誌 88(6) : 482-488）

この論文では、九州の人工林 59 地点と皆伐跡地 41 地点で樹木の定着状況を調べ、広葉樹林 17 地点での樹木の定着状況と比較するとともに、数量化 I 類を用いて樹木の定着本数密度を推定する簡易なモデルを構築している。この論文は、九州各地で広く多点サンプリングを行い、様々な条件下での天然更新状況を統計的に分析したものであり、九州地方を対象とした類似研究の中では、現時点でもっとも網羅的な研究のひとつと思われる。また、できるだけ簡便に入手できる情報で天然更新の可能性を判定する手法を試行している。したがって、広域に適用可能な普遍的な情報を提供するという点、および、実用性を重視した内容であるという点で、非常に価値の高い報告であるといえる。報告の概要は以下の通りである。

a) 樹木の定着状況

解析は、全対象樹種（高木種 + 亜高木種）を図-III-1 のように区分して行われている。

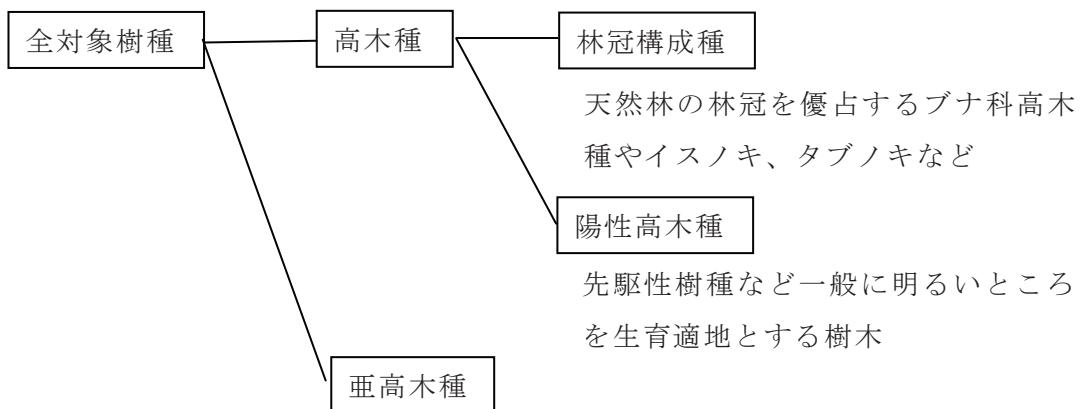


図-III-1. 齊藤ら (2006) の樹種区分

広葉樹林では、全対象樹種（高木種 + 亜高木種）で平均 3487 本/ha の定着樹木が見られたが、人工林ではその約 5 分の 1 (600 本/ha) であり、林冠優占種に限ると、広葉樹林の 451 本/ha に比較して人工林で 10 分の 1 以下 (32 本/ha)、皆伐地で半分以下 (162 本/ha) と非常に少ない。また、人工林では定着した樹木のうち亜高木種の占める割合が天然林よりも高く、林冠優占種の割合が著しく低い。皆伐地では人工林内よりも高木種の占める割合が高いが、その多くは陽性高木種であり、林冠優占種の比率は人工林の定着樹木よりもさらに低い比率になっている。

b) 樹木の定着密度に及ぼす要因

数量化 I 類による定着密度予測モデルの決定係数は、全種を対象とした場合は人工林で 0.124、皆伐地で 0.418 といずれも低い結果であった。これに対し、樹種群を区分してモデルを作成した場合の決定係数は、人工林では高木種で 0.463、陽性高木種で 0.568 と上昇し、皆伐地でも高木種で 0.614、陽性高木種で 0.602 といずれも比較的高い精度が得られている。しかし、皆伐地における林冠優占種の定着密度予測モデルの決定係数は 0.183

にとどまっている。

樹木の定着密度に影響した要因として、人工林では傾斜角、皆伐地では標高が採用されている。これに加えて、成立後の年数（人工林の林齢、皆伐地の伐採後の経過年数）が共に影響度の高い要因として採用されている。その結果、光環境に対する生態学的な樹種特性を反映させた種群でまとめることにより、標高や林齢などの地理情報や森林簿から要因に得られる情報から定着密度を比較的高い精度で予測ができている。

2) 果実食性鳥類による針葉樹人工林への種子散布（平田令子ら（2006）日本森林学会誌 88(6) : 515-524）

この論文では、常緑広葉樹林とこれに隣接する人工林でシード・トラップ法により樹木種子の散布を2シーズンにわたって調査し、ヒヨドリ類の種子散布者の役割を評価している。この論文は、結果として人工林に定着した樹木の密度ではなく、樹木の定着プロセスに関わる要因である種子散布を直接取り扱っている。また、常緑広葉樹林の林縁部を含む1.2haという大面積を対象に計120個のシード・トラップを設置して、種子散布の詳細な空間分布を解析しており、天然力の中でも特に重要な隣接林分からの種子散布と樹木定着のメカニズムの一端を解明している。したがって、上述の齊藤ら（2006）等で報告されている樹木定着の機構の理解や、これを今後的人工林の施業に反映させるまでの基礎知見として価値の高い報告であるといえる。報告の概要は以下の通りである。

a) 人工林と広葉樹林における種子散布数の比較

シード・トラップにより捕捉された種子を、鳥類により散布された種子（以下、鳥散布種子）と結実木から直接落下した果実（以下、自然落下種子）に区分し、種数と種子数を分析している。その結果、人工林に散布された種子数は単位面積あたりで比較して広葉樹林に散布された種子数よりも少なかったが、人工林内に落下した鳥散布種子の種数と種子数は、自然落下種子よりも有意に多かった。

b) 種子散布の時期と空間分布と主要散布者

自然落下種子は広葉樹林内に設置したトラップの81%で捕捉されたが、人工林では全トラップの21%しか補足されず、そのほとんどは広葉樹林との林縁部に集中した。一方、鳥散布種子は人工林内で満遍なく散布され、全トラップの97%で捕捉された。これらの結果は、被食散布型の種子を持つ樹木が人工林内に侵入・拡大する過程で、果実食性鳥類が極めて大きな役割を果たしていることを示している。

人工林における鳥散布種子の空間分布に影響する要因として、広葉樹林縁からの距離、広葉樹林内の結実木からの距離、人工林の林縁からの距離を想定して分析を行っているが、いずれの要因の効果も小さく、全体の効果を合わせても、トラップ間の落下種子数の変動の17%程度しか説明できなかった。また、人工林内の下層で結実が認められた低木についても、果実食性鳥類を誘引する効果はほとんど認められなかった。一方、イイギリなど、

隣接広葉樹林内に結実木が存在しない樹種の散布も認められた。これらの結果は、人工林内の結実木や周囲の種子源が鳥散布種子の散布に与える影響は極めて小さいことを示している。

時期別にみると、落下種子数は春～夏季よりも秋～冬季で多く、また 2002 年秋～冬季よりも 2003 年秋～冬季で少なかった。これらは、対象地域は暖温帯に位置し、被食散布型の種子を生産する多くの樹木は秋～冬季に結実することを反映していると考えられ、また、年次変動は種子の豊凶等の影響と考えられる。

2003 年 2～12 月までの 43 日間、調査地の鳥類を調査した結果、14 種の果実食性鳥類が観察され、秋～冬季にはヒヨドリの出現頻度が最も高かった。したがって、この地域では、果実食性鳥類のなかでも特にヒヨドリが人工林への種子散布者として重要な役割を果たしていることが示唆された。

以上 2 編の報告をまとめると、天然力を活用した更新技術に関する知見が次のように整理できる。

第一に、天然力を活用した更新（すなわち樹木の定着）の成否を予測する上で、光環境に対する樹種特性など、生態的な樹種特性の違いを考慮した樹種区分が重要であるという知見である。これまでも、生活形で種群を区分した樹木定着の分析は行われているが、同じ生活形を持つ樹種（たとえば高木種）でも生態的特性は大きく異なり、その更新動態をひと括りにして予測することは困難とされている。本調査事業の昨年度報告で、筆者らはそれぞれの樹種の本来の生育地に着目し、人為攪乱の程度の少ない自然林の構成樹種と、比較的人為攪乱を強く受け光環境が良好と考えられる雑木林や林縁部を主な成育場所とする樹種に区分した（表－III－1）。これを生活形と組み合わせて更新状況を分析することで、比較的明瞭な結果を得ている。

表－III－1. 本調査事業で筆者らが用いている樹種特性の区分の例
(e.g., Ito et al. 2006; Yamagawa et al. 2006)

主な生育環境・樹種特性	生活形	
	高木種	低木種
先駆種（陽性）	アカメガシワ、カラスザンショウなど	ノイバラ、クサギなど
雑木林型樹種（半陽性）	コナラ、イヌシデなど	ネジキ、コガクウツギなど
照葉樹林型樹種	イチイガシ、イスノキなど (自然林の林冠優占種)	アオキ、ミミズバイなど
夏緑林型樹種	ブナ、イタヤカエデなど	シラキ、チドリノキなど

天然力を活用した更新技術を検討する際には、林業的な視点から見た「有用樹種」という括りも必要となる。しかし、これら有用樹種は必ずしも類似した生態的特性を持っているわけではないことから、更新の可能性を判断する上で有用樹種という括りは有効な区分とはならないであろう。今後は、生態的な樹種特性を考慮して「有用樹種」の中身を細分し、樹種特性ごとに更新可能性とその技術を個別に検討する必要あると考えられる。

第二に、皆伐地のみならず人工林の林床においても、自然林の林冠を優占するような種（遷移後期林分の林冠優占種）の定着は困難であることである。本調査事業の昨年度の報告では、皆伐地における林冠優占種の実生の定着が陽性高木種（先駆種および雑木林型高木種）に比較して困難であることが明らかとなっている。陽性高木種の多くは埋土種子の寿命が長いものが多く、光環境が改善されれば林床に蓄積された埋土種子の発生・定着が促進される場合が多い。これに対して、当該地域の主要林冠構成種は埋土種子の寿命が短い堅果類（主にブナ科樹木）が多く、また種子散布能力も低いことが、人工林および皆伐地の実生定着を低い水準にとどめる要因になっていると考えられる。さらに、堅果類は小型哺乳類に捕食されるケースが非常に多く、また種子生産の豊凶が顕著に見られる樹種が多いので、人工林内や皆伐地への種子散布は極めて不確定で確率的な現象であると言えるであろう。そのため、人工林内における定着には長期を要すると推察される。齊藤ら（2006）のモデルで林齢の効果が顕著に認められたことも、このような不確実な過程が実生の定着として発現するまでに長期を要することを反映していると考えられる。

昨年度の報告では、人工林皆伐後の森林再生（特に自然林の林冠優占種の再生）において、天然下種更新による実生の発生は一部の樹種に限られ、人工林の下層に蓄積された前生樹由来の更新樹の役割が大きいことを指摘した。したがって、極めて不確定要因の大きい林冠優占種の天然下種更新を安易に期待することは危険であるといえよう。また、林冠優占種の前生樹の定着についても、間伐等の光環境の改善で劇的に改善されるようなものではなく、不確実性の高い種子の散布と発芽定着が長期にわたって蓄積される必要があると考えた方がよいであろう。同様な指摘は、人工林と天然林の下層植生を比較した他の研究（たとえば、Ito et al. 2006）でもなされている。

第三は、対象樹種を光環境に対する生態学的な樹種特性を反映させた種群にまとめるこにより、標高や林齢などの地理情報や森林簿から容易に得られる情報から樹木の定着密度を比較的高い精度で予測することができるという点である。齊藤ら（2006）の研究で用いられた要因のように簡便に得られる情報から樹木定着密度が予測可能であるという知見は、今後の天然力を活用した更新候補地を選定する上で有用であろう。一方、齊藤ら（2006）のモデルで予測精度の低かった自然林の林冠構成種については、簡便な情報での予測は非常に困難であるといえる。特にブナ科樹木のように堅果を生産する樹種の更新予測と更新技術の開発においては、種子散布・定着プロセスの詳細に解明し、どのような要因を拾い上げることで更新予測が可能になるのかを検討する必要であろう。

第四は、被食散布型種子の人工林への散布における果実食性鳥類の重要性と散布の均一性である。暖温帯の自然林の構成種は被食散布型種子を持つ樹木が多く、低木性や亜高木性の樹種を含めると全構成種のかなりの比率を占める。これらの樹木の人工林内への定着には、果実食性鳥類の役割を無視することはできないであろう。一方、更新技術の面から考えると、果実食性鳥類による種子散布をいかに促進するかが更新成否の鍵となる。しかし、ここで紹介した平田ら（2006）の結果では、鳥散布種子は人工林内にほぼ均一に散布されており、林縁、種子源、林内結実木（つまり木）の効果はほとんど検出されていない。すなわち、現在の知見では、人工林への鳥散布種子の移入を促進するための有効な情報は未だ不十分であるといえる。一方で、伐採地や林縁の結実木が果実食性鳥類を誘引するとする報告も見られることから、林冠が閉鎖し下層植生の貧弱な人工林と間伐や部分伐採等により光などの物理環境が改変された人工林とでは、果実食性鳥類の行動と鳥散布種子の分布が異なる可能性も考えられる。したがって、鳥散布種子の移入促進については、光環境の改善の効果や林内の結実木の誘引効果に関して、さらに多くの事例の蓄積が望まれる。

（2）試験研究情報

ここで紹介する3件の試験研究成果は、いずれも九州森林管理局森林技術センターの技術開発課題として実施されているものである。これらの課題では人工林と天然林の両方を対象としており、目標林型には有用樹種による天然生林と天然林型育成複層林が設定され、伐採方法および更新補助手段の評価がなされている。

1) 天然林における有用樹種の育成技術の確立（九州森林管理局森林技術センター技術開発課題 開発期間：平成8～19年度）(林野庁九州森林管理局森林技術センター, 2007)

a)目的

シイ類、カシ類を主とする天然林伐採地において、地かき、ぼう芽、天然下種更新及び種子の播種等の更新技術及び除伐技術の解明を図り、天然林伐採跡地における有用広葉樹造成を目指した天然林施業技術（更新～保育）を確立する。

b)試験設計

シイ・カシ類を主とする60年生天然林を伐採し（平成5年）、4年後の平成9年に①播種区（カシ類堅果）、②地搔播種区（表土搔き起こし+カシ類堅果播種）、③対照区を設定して、その後10年間の更新状況を調査している。播種は100m²あたり計13.0kg（イチイガシ3kg、ハナガガシ5kg、アラカシ1kg、ツブラジイ0.5kg、マテバシイ3kg、ウラジロガシ（またはシラカシ）0.5kg）である。また、伐採6年後の平成2年には先駆性樹種を対象とした除伐を実施し、対照区との比較を行っている。

c)結果の概要

播種効果：イチイガシ・アラカシが少数発芽したが、全体的に播種した樹種の発生は非

常に少なく、堅果の播種効果は小さいといえる。原因として、アカネズミによる捕食が考えられる。

地搔効果：地搔処理はクサギ、アカメガシワ等の先駆性樹種の発芽を促進するだけで、有用樹種の発芽促進にはつながっていないと判断される。

成林状況：試験設置後の 7 年目の時点では、対照区を含む 3 処理ともミズキ、タブノキ、ホソバタブ、イスノキ、イチイガシ等が定着し、更新完了と判断された。なお、鳥散布種子を持つ樹種の発生は試験設定 2 年目以降にも確認され、10 年目まで個体数を増加させていた。

除伐効果：除伐後数年は保残樹木の良好な成長が認められたが、試験設定 10 年後の段階では除伐区と対照区の林相がほぼ同じになり、除伐効果が認められなくなっている。この理由として、伐採 10 年後以降に更新個体の競合状態がピークを迎えると推察され、この試験設定の除伐の時期が早すぎた可能性が考えられる。

2) 国土保全林等における人工単層林を天然林へ誘導する技術の確立（更新）（九州森林管理局森林技術センター技術開発課題 開発期間：平成 8～19 年度）（林野庁九州森林管理局森林技術センター, 2007）

a) 目的

スギ・ヒノキの単層林伐採跡地において、地かき、ぼう芽、天然下種及び種子の播種による早急な天然林へ誘導する更新技術を解明し、人工単層林伐採跡地を天然林へ誘導する技術を確立する。

b) 試験設計

スギを主とする人工林を対象に、天然林に誘導するために林内に点在する広葉樹を極力残して伐採・搬出を行い、伐採後に①播種区（カシ類堅果）、②地搔播種区（表土搔き起こし+カシ類堅果播種）、③対照区を設定して、その後 10 年間の更新状況を調査している。播種は 100m²あたり計 8.5kg（イチイガシ 2kg、ハナガガシ 5kg、アラカシ 1kg、ツブラジイ 0.5kg）である。

c) 結果の概要

播種効果：播種後 2 年目までは播種した樹種の発生は見られず、3 年目に自然に移入したと思われる種子からイチイガシ・ツブラジイの発芽が確認された。堅果の播種効果は小さく、アカネズミによる捕食が原因と考えられる。

地搔効果：試験設定 2 年目まで、クサギ、アカメガシワ等の先駆性樹種およびススキが繁茂し、有用樹種の発生は確認されなかった。その後、被食散布型種子を持つ樹種の定着は見られたが、地搔処理による有用樹種の発芽促進の効果は無いと判断された。

成林状況：試験設定後の 3 年目から、カシ類を含む稚樹の発生が認められた。設定後 5～7 年目には、タブノキ、イヌガシ、イイギリ、ヤブニッケイ、シロダモなど、被食散布

型種子を持つ樹種が発生した。また、対照区では比較的早期から有用樹種の発生が認められ、人工林内に生育する有用樹の母樹を極力残すことで、人工林伐採跡地での天然下種更新を促進している可能性が示唆された。

3) 人工林から育成複層林（天然林型）へ誘導する施業技術の確立（（九州森林管理局森林技術センター技術開発課題 開発期間：平成 12～41 年度）（林野庁九州森林管理局森林技術センター, 2007）

a)目的

人工林において、間伐を繰り返しながら育成複層林（天然林型）へ誘導することにより、水土保全等の公益的機能及び保育等の効率的な森林保全技術の確立を図るために、施業指標林を設定する。

b)試験設計

過密状態で下層植生の貧弱な人工林（スギ 1.41ha、ヒノキ 0.64ha、他広葉樹：0.14ha）を対象に、初年度（平成 12 年度）に不整形木及び劣勢木を中心に保育間伐を行い、2～4年目（平成 13～15 年度）に枝打ちを実施することにより、林内の照度を上昇させ、下層植生の侵入促進を図っている。その後、7 年目（平成 18 年度）には、6m、8m および 10m 幅の列状伐採（列状間伐）を実施し、北側斜面および南側斜面（保護樹帯に隣接）の伐採面にプロットを設置して、広葉樹稚樹の定着状況を調査している。

c)中間結果（7 年目）の概要

林内照度の変化：北側斜面では伐採面のみならず保残帶でも林内照度が大幅に改善されたが、南斜面ではいずれも林内照度の変化は小さかった。

樹木の定着状況：平成 19 年度に現地の踏査・観察を行ったところ、広葉樹の萌芽・実生発生による更新が顕著に認められ、シイ類・カシ類・タブノキ等の有用樹の定着も確認された。なお、南側斜面の伐採箇所では、斜面上部で広葉樹の発生が少なく、伐採幅が小さくなるほどその傾向が顕著であった。

上記 3 件の試験研究事例から得られる知見は、次のように整理できる。

まず、人工林、天然林を問わず、伐採後の更新完了が確認されるには伐採から 5～7 年以上を要することが示されている。その中でも、ブナ科樹種は初期の定着個体数が非常に少なく、更新には長期を要することが示唆される。ブナ科樹種の定着が困難であり、定着に長期を要するという知見は、おそらくこれらの樹種の種子散布の不確実性を反映したものであり、前述の齊藤ら（2006）の報告とほぼ一致する。また、ブナ科樹種の多くは種子生産の豊凶が大きいため、天然下種更新を早期に成功させるためには、冷温帶のブナ林の天然下種更新試験でも指摘されているように、堅果生産の豊作に合わせた伐採を行う必要があると考えられる。さらに、播種処理区でノネズミの捕食により発芽がほとんど確認さ

れなかったという事実も、これらの樹種の天然下種更新を図る上で重要な知見である。過去の研究では、自然林の種子の豊凶は捕食者の密度をコントロールするといわれている。今回取り上げた播種試験事例の結果は、捕食者の密度が高く維持されている状況で種子がある程度大量に供給されても捕食される確率が高く、発芽定着は困難であるという可能性を示唆している。したがって、種子散布という天然力を活用する上では、捕食者の個体群動態を考慮することも重要であるといえよう。

これに対して、被食散布型の種子を持つ樹種は、伐採後徐々にではあるが、比較的安定して一定量の個体数が侵入・定着する経過が確認されており、堅果を持つブナ科樹木よりも天然下種更新の可能性は高いといえる。先に紹介した平田ら（2006）の例は人工林内への鳥散布種子の散布であるが、伐採地についても同様に比較的均一に鳥散布種子が散布されると考えてよいかもしれない。なお、人工林内に成立した広葉樹の前生樹を保残したケース（課題2）では、伐採後10年経過した時点で保残木が母樹として機能している可能性が示されている。今後、とまり木としての果実食性鳥類の誘引効果を含めて、伐採地における保残広葉樹の役割を様々なケースで評価する必要があろう。

地搔処理については、人工林と天然林の両方で先駆樹種の繁茂を促進する結果になっており、この地域では有用樹種の定着にあまり効果がないと判断してよいであろう。

ここに紹介した研究事例でも、生態的な特徴を異にする樹種群でそれぞれ異なる定着過程が見られることが示されている。したがって、天然力を活用した更新技術を確立するためには、まず対象樹種の生態的な樹種特性によって種群を整理し、それについて更新の可否を左右する要因を分析することが重要であるといえる。また、このことは、昨年度の報告書に言及した目標林型の設定にも反映されるべきである。すなわち、目標林型としてどのような樹種構成の林分を設定するかによって、その更新特性に応じた手段が講じられるべきと考える。

3. 残存天然生林分からの林縁効果に関するケーススタディ (Yamagawa et al. 2007 *Japanese Journal of Forest Environment* (森林立地) 49(2):111-122)

(1) 目的

本ケーススタディでは、1)伐採前のスギ人工林の下層植生と、2)伐採後の樹木の更新に対する隣接天然生林からの林縁効果を明らかにすることを目的として、照葉樹天然生林と隣接するスギ人工林において、伐採前の下層植生（前生樹）を調査した上で伐採し、前生樹と伐採後の更新個体を林縁からの距離別に比較した。なお、本ケーススタディは、平成16-20年度先端技術を活用した農林水産研究高度化事業「九州地域の再造林放棄地の水土保全機能評価と植生再生手法の開発（代表：九州大学・吉田茂二郎）」の一環として、鹿児島大学大学院連合農学研究科の山川博美氏ならびに宮崎大学農学部の中尾登志雄教授

との共同で行ったものである。研究成果の使用をご快諾いただいた関連各位に謝意を表する。

(2) 試験地の設計

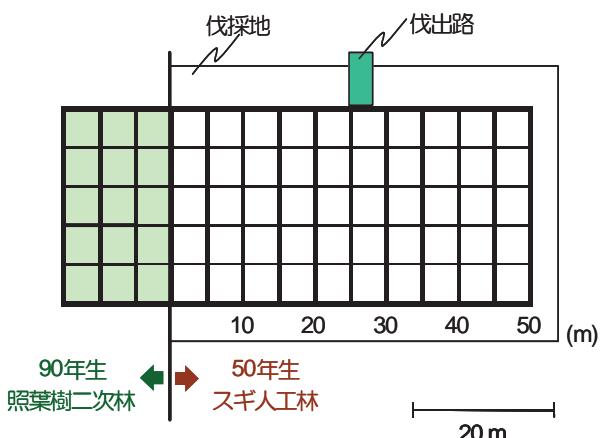
調査地は、宮崎県宮崎市田野町に位置する宮崎大学田野演習林（131E, 32N）内の 50 年生スギ人工林およびこれに隣接する 91 年生広葉樹天然生林（2005 年時点）である。標高は 110～300m、年間降水量 2800mm、年平均気温 16.5°C の暖温帯に位置し、潜在自然植生はクスノキ科およびブナ科が優占する照葉樹林である（宮脇 1981）。調査地の上木のスギは、密度が 2173 本/ha、平均 DBH が 20.9cm および平均樹高が 16.0m であった。

調査は、天然生林とスギ人工林が隣接する部分でスギ人工林に 25m × 50m、天然生林に 25m × 15m のプロットを設置して行った（図－III－2、図－III－3）。また、プロットの内部を 5m × 5m のグリッドに分割し、天然生林との林縁からの距離が同じになるようにグリッドを結合して、5m × 25m のサブプロットを 10 個設置した。



図－III－2. 調査地の概況

写真左側に天然林が隣接する。右下部の裸地は伐出路跡。左奥の広葉樹は切り残した前生樹であり、本報告ではこの部分はプロットから除外されている。なお、写真はプロット図（図－III－3）と合わせるために左右を反転して示している。



図－III－3. プロットの設計

グリッドのサイズは 5m × 5m。右側のスギ人工林で伐採前後に調査を行い、林縁からの距離が同じグリッドを結合して解析に用いた。左側の照葉樹林部分（林縁から 15m まで）で、潜在的な母樹の確認を行った。

生物的な林縁効果の主要な要因となる母樹を特定するために、林縁から天然生林側に 15m 以内に存在した照葉樹林型高木を調査したところ、潜在的に母樹となりうる樹種はスダジイが最も多く（15 個体）、ついでイチイガシ（6 個体）、アラカシ（3 個体）およびツ

ブラジイ（2個体）が生育していた。また、ハナガガシ、コナラ、タブノキ、クスノキおよびトキワガキがそれぞれ1個体ずつ確認されている。

（3）調査・解析方法

伐採前の2005年3月から4月にかけて、プロット内の樹高50cm以上の前生樹（木本種）について、グリッド単位で樹高、胸高直径（DBH1cm以上）および種名を記録した。これらの調査終了後の2005年5月に、林縁から0-35mのサブプロットは繁茂していた下層植生の下刈りを実施してスギを伐採し、35m以降は下層が貧弱であったので下刈りを行わずに上木のスギの伐採を行った。さらに、伐採後に更新した個体（生残個体、萌芽個体および実生個体）について調査を行った。生残個体は、2005年7月に樹高3cm以上の伐採後に生残していた個体について樹高および種名を記録した。さらに成長期が終わった11月に、プロット内に成立する樹高3cm以上の全個体について種名および樹高を記録した。その際に、伐採前（2005年3-4月）および伐採後（2005年7月）の調査結果と比較しながら、前生樹が伐採され萌芽した個体と新規に発生した個体（実生個体）を特定した。

解析は、照葉樹天然生林との林縁からの距離の等しいサブプロット単位で行った。種組成の比較は、樹種グループ（表-III-1を参照）、種子散布様式および主要構成種別に個体数および種数を指標に行った。樹種グループは、生育環境および生活形に着目して、図鑑の記載（北村・村田 1979; 奥田 1997; 茂木ら 2000）を参考に6グループ（1:先駆種グループ、2:雑木林型低木グループ、3: 雜木林型高木グループ、4: 照葉樹林型低木グループ、5: 照葉樹林型高木グループ、6: その他(ヒノキ)）に分類した。種子散布様式は、果実の形状およびサイズに着目して、重力散布、被食散布、風散布に分類した。

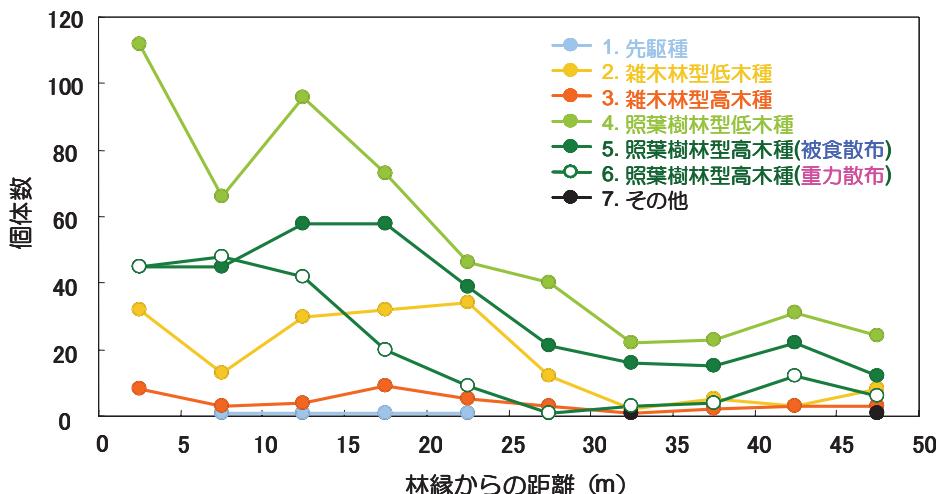
（4）結果

1) 前生樹の分布

図-III-4に、プロット内に出現した個体数および種数を樹種グループおよび種子散布様式別に示す。下層植生の前生樹は、47種 1482個体（10778個体/ha）が観察された。出現した個体数と種数を樹種グループで比較すると、先駆種（4種4個体）、雑木林型低木（8種191個体）および雑木林型高木グループ（5種45個体）の個体は少なく、照葉樹林型低木（17種659個体）および照葉樹林型高木グループ（12種581個体）の個体が多かった。先駆種、雑木林型低木および雑木林型高木グループは、個体数および種数とも林縁からの距離に対応した変化は認められなかった。しかし、照葉樹林型低木グループは林縁から25-30mの位置から林縁に近づくにつれて個体数が増加した。また、照葉樹林型高木グループは、林縁から25-30mの位置から林縁に近づくにつれて個体数と種数が増加する傾向が得られた。

種子散布様式を比較すると、被食散布種子を持つ種は、重力散布種子および風散布種子を

持つ種より圧倒的に多かった。また、被食散布種子および重力散布種子を持つ種の個体数および種数の増加は、林縁に依存する傾向が見られ、林縁効果の範囲は被食散布種子で林縁から 25-30m 程度、重力散布種子で林縁から 15-20m 程度であった。主要構成種（詳細は原典（Yamagawa et al. 2007）に記載）で比較すると、アラカシ、タブノキおよびヒメユズリハは、すべてのサブプロットで出現し、林縁から 20-25m 程度から林縁にかけて個体数が増加する傾向が観察された。一方、イチイガシ、ハナガガシおよびスダジイは、すべてのサブプロットでは確認されず、林縁付近に集中していた。それぞれの種の出現が確認された林縁からの距離は、イチイガシで 20-25m、ハナガガシで 0-5m、およびスダジイで 10-15m であった。また、下層木の樹高分布を比較すると、林縁に近づくにつれて下層木の樹高が高くなる傾向が観察された（詳細は原典（Yamagawa et al. 2007）に記載）。

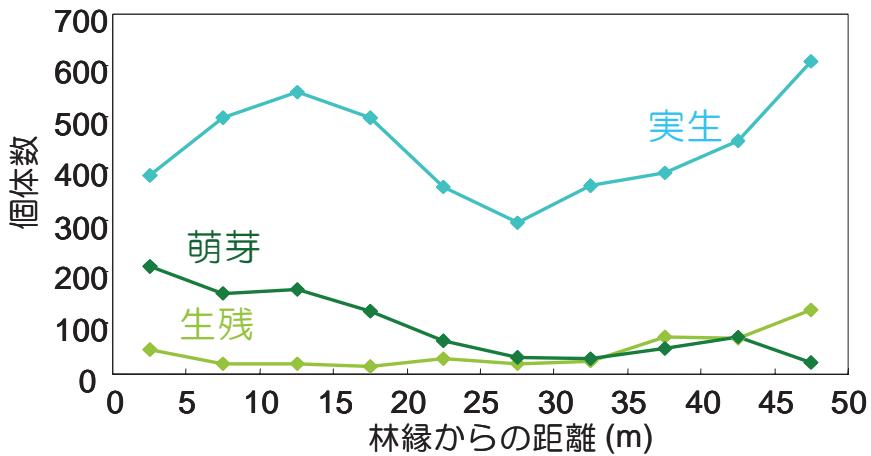


図－III－4．伐採前の下層植生における前生樹（樹高 $\geq 50\text{cm}$ ）の個体数（/125m²）

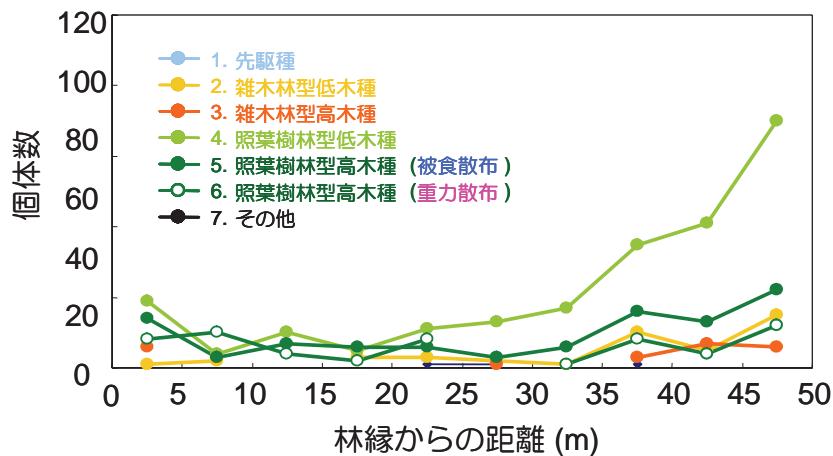
2) 伐採後の更新状況

伐採後の更新個体は 70 種 6306 個体（45861 個体/ha）が確認された。その内訳は、生残個体が 40 種 618 個体（4495 個体/ha）、萌芽個体が 42 種 1012 個体（7360 個体/ha）であり、新規に発生した実生個体が 56 種 4676 個体（34007 個体/ha）であった（図－III－5）。更新個体の個体数は伐区の中央付近（伐出路付近）で最も少なかった。樹種グループによって林縁からの距離別に個体数を比較すると、先駆種グループは、林縁から 15m 付近と 50m 付近で個体数が多く、天然生林および林縁から 30m 付近で少なかった。

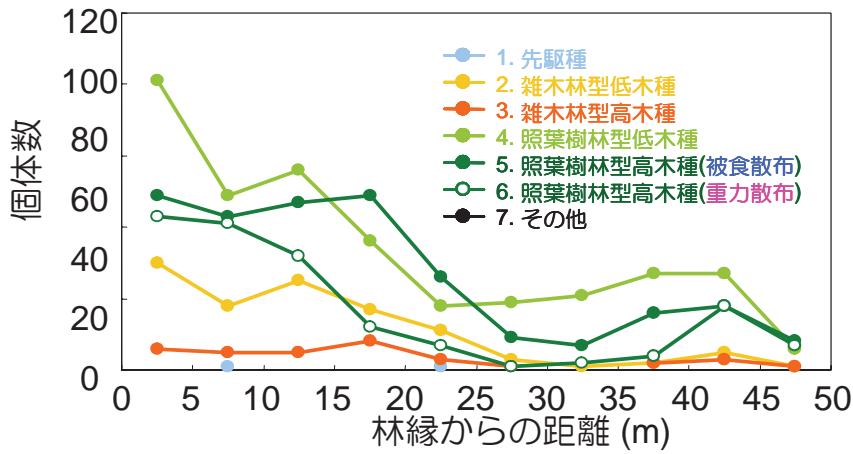
伐採後の更新個体の個体数および種数を樹種グループおよび種子散布様式別にみると、生残個体（図－III－6）は、伐採前の下層植生と比較して個体数が減少していた。また、伐採以前の下層植生で見られた、個体数の林縁部への依存性は見られず、林縁からの距離の違いによる個体数の違いはなかった。萌芽個体（図－III－7）は、伐採前の下層植生と同様に、林縁部（20-25m）で個体数が多かった。



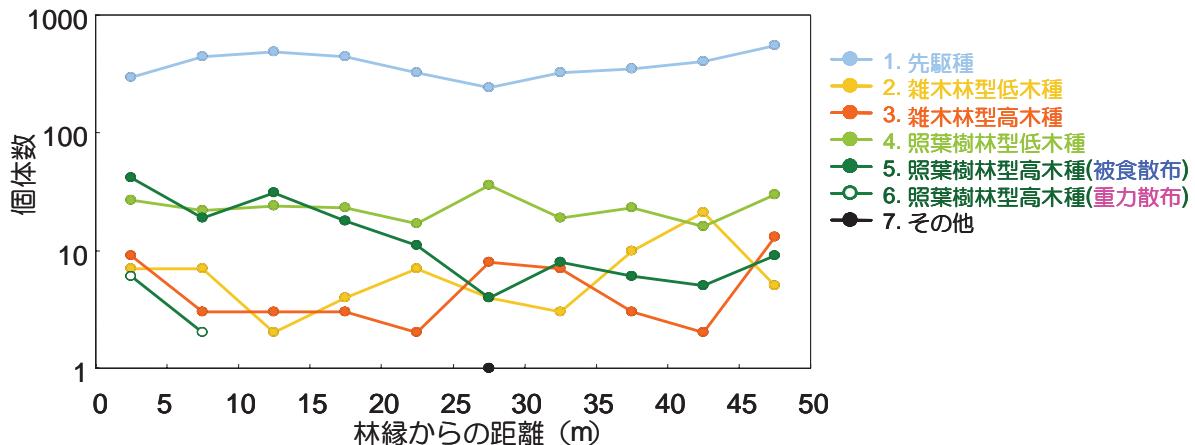
図－III－5．伐採後の生残個体、萌芽個体および実生個体の個体数 ($/125\text{m}^2$)



図－III－6．樹種グループ別にみた伐採後の生残個体の個体数の内訳 ($/125\text{m}^2$)



図－III－7．樹種グループ別にみた伐採後の萌芽個体の個体数の内訳 ($/125\text{m}^2$)



図－III－8．樹種グループ別に見た伐採後の実生発生個体数の内訳 (/125m²)

伐採後に新たに発生した実生（図－III－8）は、先駆種グループが他の樹種グループと比較して圧倒的に多かった。先駆種グループに属する樹種は、林縁から 10-15m 付近と 45-50m 付近で発生個体が多く、林縁部と林縁から 25-30m の位置で発生個体が少なかつた。照葉樹林型高木グループの樹種は、林縁から 20-25m から林縁にかけて増加していた。特に、タブノキやクスノキなどの被食散布型の樹種は、アラカシやイチイガシなどの重力散布型の種と比較して林縁からより離れた地点まで出現していた。さらにその中でも、タブノキとクスノキは、非常に多くの発生が確認された。また、アラカシ、イチイガシおよびツヅラジイは、林縁付近（0-10m）に集中して発生していた。ハナガガシの実生は発生していないかった（主要構成種の樹種別の詳細結果は原典（Yamagawa et al. 2007）に記載）。

（5）考察

1) 前生樹の分布に及ぼす林縁効果の要因

スギ人工林下層の前生樹の個体数、種数および樹高の分布から、スギ人工林に対する隣接照葉樹林の効果として 20~30m 程度の林縁効果が認められた。その中で、タブノキやヒメユズリハなどの被食散布型種子を持つ種は、イチイガシ、スダジイおよびハナガガシなどの重力散布型種子を持つ種より多く出現し、林縁から離れた部分でも比較的多く出現していた。このような樹種特性による違いは、先述の齊藤ら（2006）や平田ら（2006）から推察される状況と概ね一致する内容である。一般に、被食散布型（主に鳥散布）の種子は、散布能力が 100m 程度と考えられている（中西 1994）。このような種子散布能力の高さが、被食散布型種子を持つ木本種の発生数の多さや距離に依存しない分布に影響していると考えられる。また、重力散布型の種であっても 20m 程度は林縁効果があることが示され、小型哺乳類による種子の二次散布（Vander Wall 1990）の影響が考えられた。これは、これまでに報告されているブナ科の堅果の種子散布距離（Sone et al. 2002; Takahashi et

al. 2006) と一致する。

また、本報告では詳細データを割愛したが、下層植生の樹高は林縁部で高く林縁から離れるほど低くなる傾向があった。この樹高分布の傾向は、林縁付近で個体数が多いことと合わせて考えると、天然生林からの種子散布頻度の違いが前生樹の定着時期の違いに影響していることが考えられる。すなわち、林縁部では天然生林から種子が散布される機会が相対的に多く、これが長期間蓄積されることで、前生樹の種組成だけでなく樹木サイズの分布にも影響を与えていているといえる。

本研究で対象としたスギ人工林と隣接する照葉樹天然生林は 91 年生で比較的発達した林分であり、母樹となりうる樹木が比較的多く存在した。また、発達した照葉樹林は林冠構造が複雑で、ある程度良好な光環境が確保される (Yamamoto 2000)。逆に、隣接する林分が常緑広葉樹林であっても、比較的若い一斉萌芽林のような場合は林床も暗く種組成も単純である (例えば、伊藤ら 1988、井藤ら 2008)。したがって、隣接する照葉樹林の林分状態は、林縁効果の発現を左右する大きな要因となるかもしれない。

2) 伐採後の更新に及ぼす林縁効果

これまで、昨年度の本事業報告も含む多くの研究で、伐採後の森林再生における前生樹の重要性が指摘されている (たとえば、Bormann and Likens 1979; Kammeshedit 1998; Yamagawa et al. 2006)。本ケーススタディでは、当該地域の自然林型の森林再生に最も貢献すると予想される照葉樹林型高木種の前生樹が林縁に近づくにつれて増加していた。このような林縁付近の豊富な前生樹は、伐採後の萌芽再生等を通して早期の森林再生に寄与すると考えられる。実際に、伐採後の生残個体には林縁からの距離に依存した大きな変化は見られなかったものの、萌芽再生個体数は伐採前の前生樹数と同様な分布パターンを示していた。また、本報告書では詳細を割愛したが、前生樹のサイズが DBH1cm を超えると、伐採後の萌芽再生確率が上昇する結果が得られており、林縁で長期間蓄積されたサイズの大きな前生樹は、伐採後の再生材料としてより有効に機能すると考えられる。

これに対して、実生として発生した更新樹のほとんどは先駆種であり、その他の樹種で発生が比較的多かったものは低木種または被食散布型の種子を持つ樹種であった。これらの樹種はいずれも林縁の効果は明瞭には観察されなかった。重力散布種子を持つ照葉樹林型高木種の実生発生が非常に少なく、林縁から 5~10m に限られていたことは、これらの樹種の定着に対する林縁効果の範囲が非常に狭く、また非常に確実性の低い現象であることが示された。これらの結果も、先述の齊藤ら (2006) や平田ら (2006) の結果を支持するものである。

照葉樹林型高木種のなかでも、タブノキおよびクスノキの実生は例外的に多く発生していた。この理由ひとつとして、タブノキは 7~8 月に種子を散布し、その後に高い発芽率で発芽すること(竹下・田内 1990)、またクスノキは埋土種子として土壤中に存在し (デルミーら 1987; 1988)、土壤中での種子寿命が比較的長いこと (勝田ら 1998) が出現個

体の多さに影響していることが考えられる。しかしながら、タブノキ (Tagawa 1973; Sato et al. 1994) をはじめ多くの樹種では、種子生産に豊凶があることが報告されており、このような現象の普遍性や長期的な効果は今後の事例集積と長期観察が必要である。

なお、発生した実生の個体数は、プロット中央付近で減少しており、この理由としては伐採および搬出時の地表搅乱による土壌の消失および踏み固め（たとえば Pinard et al. 1996; Guariguata and Duputy 1997; Tálamo and Caziani 2003）が考えられる。

4) 今後の課題

本ケーススタディでは、照葉樹天然林が隣接することによる林縁効果が、前生樹および伐採後1年目の森林再生に対して最大20-30m程度の範囲で観察できた。しかしながら、暖温帯の針葉樹人工林や伐採跡地では、隣接天然林からの林縁効果が明瞭でないと報告されている (Ito et al. 2003; Mizunaga & Matsumoto 2003; Yamagawa et al. 2006)。また、これまで多くの林縁効果に関する研究では、林縁効果の認められる範囲がケースによって異なることを多く報告されており（たとえば Euskirchen 2001）、林縁効果は場所ごとの特殊性があり一般化することは難しい (Murcia 1995; Harper et al. 2005)。したがって、今後は、林縁のタイプや隣接する天然林の発達度合い等の情報を明確に区分し、比較を行っていく必要がある。

4. おわりに

本年度の調査で明らかになった最も重要な点は、天然力を活用した更新技術を考える上で、対象とする樹木の生態的特徴による整理が重要であるということである。中でも、本報告で取り上げたほとんどの事例でみられるように、特にブナ科樹木のような重力散布型種子をもつ天然林の林冠構成種は、種子散布と実生の発芽定着に関する不確定要素の影響が極めて大きく、現段階では極めて予測困難である。齊藤ら(2006)の結果に見られたブナ科樹木の定着や、林縁効果のケーススタディで見られた人工林下層へのブナ科樹木の定着は、このような不確実な確率的現象が長期間蓄積されることで我々が把握できる状態になっていると考えたほうがよいであろう。したがって、天然力を活用した更新技術を考える際に、これら不確定要素が多い樹種群については、受光伐等の何らかの人為的更新補助手段を講じることで短期間に劇的な定着率の改善を期待するには無理があると考える。また、このような現象を確実性の高い情報として把握し、技術への応用に耐えうるレベルに整備するためには、隣接天然林の種子源としての効果も含めて、長期的な観察事例の集積が不可欠である。

本報告でも、前生樹の役割の重要性が確認された。前生樹は、伐採後の萌芽再生等の直接的な更新材料としての役割と共に、保残した前生樹が母樹あるいは果実植生鳥類のとなり木として機能する可能性がある。したがって、長期的な視点にたった前生樹の成立・蓄

積の促進方法と、伐採時の前生樹保残による短・中期的な更新促進効果を、地表攪乱のインパクトの評価と合わせて解明していく必要がある。

5. 引用文献

- Bormann, F.H., Likens, G.E. (1979): Pattern and process in a forested ecosystem. Springer-Verlag, New York.
- Buckley, D.S., Crow, T.R., Nauertz, E.A., Schulz, K.E. (2003): Influence of skid trails and haul roads on understory plant richness and composition in managed forest landscape in Upper Michigan, USA. *For. Ecol. Manage.* 175: 509-520.
- デルミー・アハマッド・須崎民雄・岡野哲郎・矢幡 久 (1987) 常緑広葉樹林における埋土種子に関する研究 (I) -イチイガシ林における埋土種子の種構成-. 日本林学会九州支部研究論文集 40:111-114.
- デルミー・アハマッド・須崎民雄・矢幡久 (1988) 常緑広葉樹林における埋土種子に関する研究 (III) -遷移途上のマテバシイ林における埋土種子の種組成-. 日本林学会九州支部研究論文集 41:99-100.
- Euskirchen, E. S. Chen, J. and Bi, R. (2001) Effects of edges on plant communities in a managed landscape in northern Wisconsin. *Forest Ecology and Management* 148: 93-108.
- Guariguata, M.R., Dupuy, J.M. (1997): Forest regeneration in abandoned logging roads in lowland Costa Rica. *Biotropica*. 29: 15-28.
- Harper, K.A., Macdonald, S.E., Burton, P.J., Chen, J., Brosowske, K.D., Saunders, S.C., Euskirchen, E.S., Roberts, D., Jaiteh, M.S., Essen, P.A. (2005): Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. *Cons. Biol.* 19: 768-782.
- 井藤宏香・伊藤 哲・塚本麻衣子・中尾登志雄(2008): 照葉樹二次林における林冠構成萌芽株集団の動態が林分構造の変化に及ぼす影響. 日本森林学会誌 90(1): (印刷中).
- 伊藤 哲・須崎民雄・矢幡 久・岡野哲 (1988): 北部九州沿岸のマテバシイ林に関する生態学的研究. 九州大学農学部学芸雑誌 42: 163-186.
- Ito, S., Nakagawa, M., Buckley, G.P., Nogami, K. (2003): Species richness in sugi (*Cryptomeria japonica* D.DON) plantations in southeastern Kyusyu, Japan: the effects of stand type and age on understory tree and shrubs. *J. For. Res.* 8: 49-57.
- 平田令子・畠 邦彦・曾根晃一 (2006): 果実食性鳥類による針葉樹人工林への種子散布. 日本森林学会誌. 88: 515-524.
- Kammesheidt, L. (1998): The role of tree sprouts in the restoration of stand structure

- and species diversity in tropical moist forest after slash-and-burn agriculture in Eastern Paraguay. *Plant Ecology* 139: 155-165.
- 勝田 桢・森 徳典・横山敏孝 (1998): 日本の樹木種子-広葉樹編-. 林木育種協会, 東京
- 北村四郎・村田 源 (1979) 原色日本植物図鑑 木本編 I・II. 保育社, 大阪
- 宮脇 昭 (1981) 日本植生誌.至文堂, 東京
- 溝上展也・伊藤 哲・井 剛 (2002): 宮崎県諸塚村における帶状複層林のスギ・ヒノキ下木の成長特性. *日本林学会誌* 84: 151-158.
- Mizunaga, H., Matsumoto, N. (2003): The density of juveniles of broad-leaved woody species in young *Cryptomeria japonica* plantations bordering natural laurel forests on Yakushima Island. *J. Jpn. Soc. Reveget. Tech.* 28: 520-529.
- 茂木 透・高橋秀男・勝山輝男 (2000) 樹に咲く花. 山と渓谷社, 東京
- Murcia, C. (1995): Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends Ecol. Evol.* 10: 58-62.
- 中西弘樹 (1994): 種子はひろがる-種子散布の生態学-. 平凡社, 東京
- 奥田重俊 (1997) 日本野生植物館.小学館, 東京
- Pinard, M., Howlett, B., Davidson, D. (1996): Site conditions limit pioneer tree recruitment after logging of dipterocarp forest in Sabah, Malaysia. *Biotropica*. 28: 2-12.
- 齊藤 哲・猪上 信義・野田 亮・山田 康裕・佐保 公隆・高宮 立身・横尾 謙一郎・小南 陽亮・永松 大・佐藤 保・梶本 卓也 (2006): 九州における針葉樹人工林および皆伐後再造林未済地に定着した樹木の本数密度の予測. *日本森林学会誌*. 88: 482-488.
- Sarlöv Herlin, I. L., Fry, G.L.A. (2000): Dispersal of woody plants in forest edges and hedgerows in a Southern Swedish agricultural area: the role of site and landscape structure. *Land. Ecol.* 15: 229-242.
- Sato, T., Tanouchi, H., Takeshita, K. (1994): Initial regenerative processes of *Distylium racemosum* and *Persea thunbergii* in an evergreen broad-leaved forest. *J. Plant Res.* 107: 331-337.
- Sone, K., Hiroi, S., Nagahama, D., Ohkubo, C., Nakao, E., Murao, S., Hata, K. (2002): Hoarding of acorns by granivorous mice and its role in the population processes of *Pasania edulis* (Makino) Makino. *Ecol. Res.* 17: 553-564.
- Tagawa, H. (1973): An investigation of initial regeneration in an evergreen broadleaved forest of Minamata Special Research Area of IBP. 1. Seedling production and the distribution of dominant species. *Res. Ebino Biol. Lab. Kyushu Univ.* 1: 73-80.
- Takahashi K., Sato, K., Washitani, I. (2006): The role of the wood mouse in *Quercus*

serrata acorn dispersal in abandoned cut-over land. For. Ecol. Manage. 229: 120-127.

竹下慶子・田内裕之 (1990) 常緑広葉樹林の埋土種子および実生集団 -タブノキ林とカシ類混交林の場合-. 日本林学会九州支部研究論文集 43:91-92.

Táalamo, A., Caziani, S.M. (2003): Variation in woody vegetation among sites with different disturbance histories in the Argentine Chaco. For. Ecol. Manage. 184: 79-92.

Vander Wall, S. B. (1990): Food hoarding in animals. The University of Chicago Press, Chicago.

Yamagawa, H., Ito, S. (2006): The role of different sources of tree regeneration in the initial stages of natural forest recovery after logging of conifer plantation in a warm-temperate region. J. For. Res. 11: 455-460.

Yamagawa, H., Ito, S., Mitsuda, Y., Fukuzato, K. (2006): Effects of topography and management history on natural forest recovery in abandoned forest after clear-cutting in Miyazaki, Japan. J. For. Res. 11: 99-106.

Yamagawa, H., Ito, S., Nakao, T. (2007): Edge effects from a natural evergreen broadleaved forest patch on advanced regeneration and natural forest recovery after clear-cutting of a sugi (*Cryptomeria japonica*) plantation. Jap. J. For. Environ. 49: 111-122.

Yamamoto, S. (2000): Forest gap dynamics and tree regeneration. J. For. Res. 5: 223-229.

天然力を活かした更新技術による森林整備に関する調査

2007年度報告ダイジェスト版

2007年度の報告では日本列島の北部、中央部、南部における造林未済地の現状と課題について調査することとし、第Ⅰ章では「北海道東部のカラマツ人工林における再造林未済地の植生回復」について、第Ⅱ章では埼玉県奥秩父地方を対象地として、G I Sを利用して林地の立地条件から天然更新木の樹高成長を予測する手法について、第Ⅲ章では最近の暖温帯林の天然更新に関する研究報告事例の分析を行うとともに、隣接天然生林分から人工林伐採跡地へ林縁効果について検討することとした。

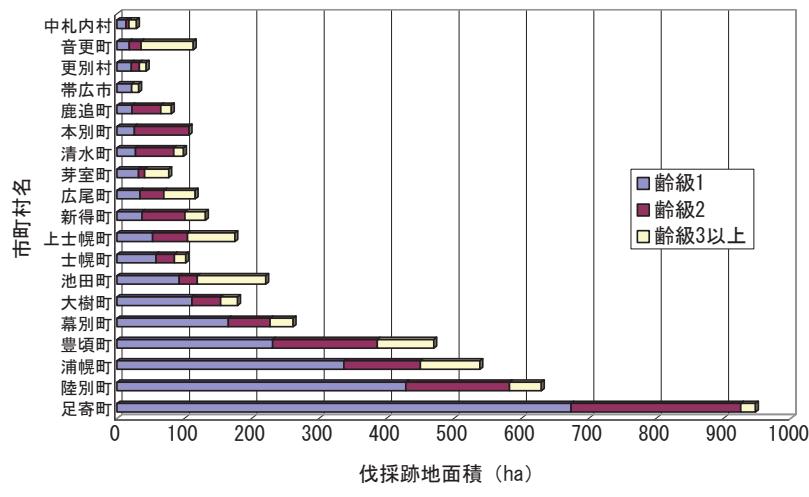
I. 北海道東部のカラマツ人工林における再造林未済地の植生回復

北海道における民有林経営の歴史のある東部の十勝支庁のカラマツ林を対象として、経営史的調査と伐採後5年程経過した再造林未済地の更新状況について調査した。

民有林におけるカラマツ造林の経緯は北海道における大規模経営に類似しており、齢級構成が不連続であることがわかった。伐採跡地面積は1齢級が2,400ha以上あり、2、3齢級以上の合計値を上回っている。このことからここ数年間の伐採跡地面積が急拡大していることがわかった。特に、市町村域面積に占める伐採跡地面積の比率は最も小さい帯広市で0.05%、最も大きい陸別町で1.03%、平均で0.40%となっており極めて異常な状態であるといえる。

一方、現地調査の結果から、伐採や集材の方式が極めて粗放のため、集材路周辺で土壤浸食がおき始めているケースが確認できたが、このような事例は2006年度報告の九州の事例に類似するものといえる。道有林による調査でもこの問題点は指摘されており、造材業者の特定は行われているが、改善策は示されていない。今後、この問題は全国的に波及していくことも懸念されるので、早急な対策が必要といえよう。また現地調査の結果、天然更新木によって将来の森林を構成することがほとんど困難と考えられる伐採跡地があることがわかった。このような伐採跡地では土地所有者の造林意欲の向上をはかると同時に積極的に再造林を促す必要がある。仮に、地形などの条件により林地保全が必要であるにも関わらず、造林意欲の欠如が決定的な場合には、何らかの手段により所有者の意向に関わらず行政的な手段で再造林を実施していく必要性が示唆された。ところで、北海道東部の場合、民有林のカラマツ人工林が放牧場と隣接しているケースが少なくない。天然更新木による更新完了が確実な場合であっても、土地所有者の考えにより土地利用形態自体が変更されてしまう場合のあることがわかった。この点は森林経営以前の問題であり、行政部署の横断的組織による実態調査が不可欠だといえる。

現時点で行政機関や試験研究機関による調査は徐々に進められているが、更新阻害要因を特定するための



十勝支庁管内市町村別齢級別人工林伐採跡地面積

統計的な調査や分析手法が駆使されているとはいえないでの、早急に対策を検討すべきであろう。また、更新完了時期の特定に関しては地域的特長を考慮する必要があるが、更新木の調査区分の統一は是非とも必要だと考えられた。

II. 立地条件と天然更新の関係について—埼玉県奥秩父地方における不成績造林地の事例—

同じ施業が実施された大面積の造林地をみると、造林木と侵入木の優劣関係はさまざまであり、立派に成林している造林地から造林木がみられず広葉樹林になっているような造林地までがモザイク状に交じっている。この原因には造林木と侵入木の成長を左右する立地条件の良否も関係している。植林後に十分な管理がなされなかつたために広葉樹等が侵入した林地を対象として侵入木の生育状況を解析すれば、林地の立地条件と皆伐後の天然更新との関係を探すことができると考えた。太平洋側落葉広葉樹林帯において拡大造林後に広葉樹が侵入して二次林化した不成績造林地を対象とし、林地の立地条件から侵入木の成長の良否を予測する手法を検討した。

対象地は埼玉県秩父市にある東京大学林秩父演習林の 25 林班にあるヒノキの不成績造林地とした。出現した主要な樹種はヒノキのほかはウダイカンバ、サワグルミ、ミズキ、オオバアサガラ、ミズメ、ウリハダカエデ、ウワミズザクラ、コシアブラ、コミネカエデ、ホオノキであった。この林分は造林される前には原生林で、近くの原生林の調査結果からイヌブナ、ブナ、ツガを主体としてシオジやメグスリノキなどが混交していたと考えられる。

林地の立地条件として GIS で簡単に求められる地形および地形から算出される水文環境や光環境を表す因子を用いた。まず、空間解像度 $10m \times 10m$ の数値標高モデルを調製した。この数値標高モデルに重なるように、対象地内に $10m \times 10m$ のプロットを 60 個設置した。プロット内では胸高直径 3cm 以上の立木すべてについて、樹種・胸高直径・樹高を記録した。毎木調査を実施したプロットの近辺で樹幹解析の資料を採取した。数値標高モデルから立地条件を表わす標高、斜面傾斜角、集水域積算、水湿指数、陰影起伏、曲率の 6 種類の因子を算出した。次に、毎木調査を行なった各プロットについて、6 種類の因子を説明変数とし、侵入木の地位指数をそれぞれ被説明変数として樹木回帰を行なった。この時の地位指数の基準樹齢は 42 年とした。さらに、ミズキ、ミズメ、キハダ、シラカンバの樹幹解析データから樹高成長曲線を求めた。この樹高成長曲線をガイドカーブとして、回帰木により分類された地位指数に合うように調整し、地位指数に対応した地位指数曲線を得た。60 プロットに対して、分類された侵入木の地位指数（予測値）を侵入木の最大樹高（実測値）と比較すると、ほとんどのプロットで両者の差が $\pm 3m$ の範囲に収まった。

地位指数の回帰木により天然更新木の成長の早い林地や遅い林地を推定することができる。さらに、地位指数曲線と組み合わせることにより指定した更新開始後の年数に対応した更新木の最大樹高を推定することが可能である。しかし、この地位指数曲線は造林木がある場合の侵入木の樹高成長経過から作成されたため、伐採跡地に更新する樹木の樹高成長とは若干異なる可能性があるので注意が必要である。

III. 残存天然生林分から人工林伐採跡地への林縁効果 —九州地方における調査事例—

暖温帯林の天然更新に関する最近の研究報告事例のレビューに基づいて、1) 地域性を考慮した様々な事例から得られる知見の整理を行うとともに、2) 隣接天然生林分から人工林伐採跡地への林縁効果について検討することとした。

広域を対象とした網羅的な研究および大規模な調査または操作実験による成果として、2006年に発表された論文 2 編と、平成 19 年度時点で完了または継続中の試験研究課題 3 件を精査した。また、人工林に隣接する天然林からの林縁効果について、ケーススタディを行った。これ

らの結果から明らかとなった現時点での知見は、次のようにまとめられる。

(1) **樹種特性による区分の重要性**：天然力を活用した更新の成否を予測する上で、光環境に対する特性など、生態的な樹種特性の違いを考慮した樹種区分が重要である。同じ生活形を持つ樹種（たとえば高木種）でも生態的特性は大きく異なり、その更新動態をひと括りにして予測することは困難である。林業的な視点から見た「有用樹種」という括りは、必ずしも類似した生態的特性を持つ樹種群を指すわけではないことから、更新の可能性を判断する上で有効な区分とはならないであろう。今後は、生態的な樹種特性を考慮して「有用樹種」の中身を吟味し、樹種特性ごとに更新可能性とその技術を個別に検討する必要あると考えられる。

(2) **重力散布型樹種の更新**：皆伐地のみならず人工林の林床においても、自然林の林冠を優占するような種（遷移後期林分の林冠優占種）の定着は困難である。陽性高木種（先駆種および雑木林型高木種）の多くは埋土種子の寿命が長いものが多く、光環境が改善されれば林床に蓄積された埋土種子の発生・定着が促進される場合が多い。これに対して、当該地域の主要林冠構成種は埋土種子の寿命が短い堅果類（主にブナ科樹木）が多く、また種子散布能力も低い。さらに、堅果類は小型哺乳類に捕食されるケースが非常に多く、また種子生産の豊凶が顕著に見られる樹種が多いので、人工林内や皆伐地への種子散布は極めて不確定で確率的な現象である。そのため、人工林内への稚樹の侵入・定着は概して長期間を要すると考えられ、このような林冠優占種の天然下種更新を安易に期待することは危険である。また、これらの樹種の定着は、間伐等の光環境の改善で劇的に改善されるようなものではなく、不確実性の高い種子の散布と発芽定着が長期にわたって蓄積される必要がある。

(3) **被食散布型樹種の更新**：被食散布型の種子を持つ樹種は、伐採後徐々にではあるが、比較的安定して一定量の個体数が侵入・定着する経過が確認されており、堅果を持つブナ科樹木よりも天然下種更新の可能性は高いといえる。暖温帯の自然林の構成種は被食散布型種子を持つ樹木が多く、低木性や亜高木性の樹種を含めると全構成種のかなりの比率を占める。これらの樹木の人工林内への定着には、果実食性鳥類が大きな役割を果たしている。更新技術の面から考えると、果実食性鳥類による種子散布をいかに促進するかが更新成否の鍵となるが、本報告で精査した事例（平田ら 2006）では、鳥散布種子は人工林内にほぼ均一に散布されており、林縁、種子源、林内結実木（とまり木）の効果はほとんど検出されていない。他の研究では、伐採地や林縁の結実木が果実食性鳥類を誘引するという報告も見られることから、林冠の疎開状況等で果実食性鳥類の行動と鳥散布種子の分布が異なる可能性も考えられ、今後さらに多くの事例の蓄積が望まれる。

(4) **更新予測手法**：生態学的な樹種特性を反映させた種群にまとめることにより、標高や林齢などの地理情報や森林簿から容易に得られる情報を用いて、樹木の定着密度を比較的高い精度で予測することが可能であると考えられる（齊藤ら 2006）。簡便に得られる情報から樹木定着密度が予測可能であるという知見は、今後の天然力を活用した更新候補地を選定する上で有用であろう。ただし、予測精度の低い自然林の林冠構成種については、簡便な情報での予測は非常に困難であり、種子散布・定着プロセスを個別に解明することが必要である。

(5) **林縁効果**：九州南部で行ったケーススタディでは、スギ人工林下層の前生樹の個体数、種数および樹高の分布、ならびに伐採後の更新樹の定着に対する隣接照葉樹林の効果として、最大20～30m程度の林縁効果が認められた。しかし、重力散布型樹種の更新に及ぼす隣接天然林の効果は不明瞭であり、この効果が発現するには長期間を要すると推察された。また、隣接林分の効果は林分構造によって大きく異なると考えられ、今後は、林縁のタイプや隣接する天然林の発達度合い等の情報を明確に区分し、比較する必要が示唆された。