

森林総合研究所交付金プロジェクト研究

「豪雨・急傾斜地帯における低攪乱型人工林管理技術の開発」成果

も り これからの森林づくりのために

持続的な人工林管理のヒント



間伐が行われてきたスギ高齢林



ヒノキの無間伐林



国立研究開発法人
森林総合研究所 四国支所

Shikoku Research Center,
Forestry and Forest Products Research Institute



山の上まで造成された人工林



手入れがされている高齢スギ人工林（116年生）



過密なスギ人工林（48年生）



ニホンキバチ（左）による材変色被害（右）

これからの^も森林づくりのために

持続的な人工林管理のヒント

目 次

はじめに	2
人工林を持続的に管理していくために — そのポイントは？	3
＜要 約＞	
高齢級化が進む人工林の現状	4
大きい個体ほど間伐後の成長が良い！	5
残した木の成長には周辺木との競争が影響	6
強度な間伐の適用にあたっては注意が必要！	7
病虫害による材の劣化を低減するために	8
人工林の表土を保全するために	9
施業シミュレーションシステムによる収益性の高い伐期の探索	10
積極的な収入間伐が有利	11
＜解 説＞	
1. 高齢人工林の実態から学ぶ	12
2. 樹木どうしの競争に配慮した選木と間伐	14
3. 強度間伐および上層間伐が樹木に及ぼす影響	16
4. 病虫害による材の劣化を低減するために	18
5. 人工林の表土を保全するために	21
6. 施業シミュレーションシステムによる収益性の高い伐期の探索	24
7. 積極的な間伐収穫をめざした施業	26
引用文献	28
用語の解説	30
おわりに	31

はじめに

この冊子は、国立研究開発法人森林総合研究所四国支所が中心となり、森林総合研究所林業工学研究領域、高知大学、宮崎大学、高知県立森林技術センターと共同で行った、森林総合研究所交付金プロジェクト「豪雨・急傾斜地帯における低攪乱型人工林管理技術の開発」(H23-26)の中から、森林づくり関係の成果を取りまとめたものです。

本プロジェクトが企画された平成 22 年は、民主党政権による「森林・林業再生プラン」が閣議決定された翌年にあたります。この「再生プラン」には日本林業を先進国型の自立した成長産業とすることがうたわれています。お手本にしたドイツの林業では、選木した木を 100 年以上育てながら、収穫間伐による積極的な木材生産を行うなど、生産目標の明確化と森林づくりの両立を目指した施業が行われています。しかし、この施業は天然更新による非皆伐施業のため、天然更新が困難な日本のスギ・ヒノキ人工林には不向きな方法です。そのため日本の人工林の特性にあわせた管理手法を確立する必要があります。

日本林業は、戦後の復興需要期に盛んに造林してきたため、現在、スギ・ヒノキの人工林面積は 40～50 年生付近に偏るいびつな年齢構成となっており、管理しきれない間伐遅れの人工林が発生してきた原因にもなっています。最近では、素材需要がリーマンショックでの急落前の量に戻らず、木材価格は底を打ったまま低迷しています。この状況が続けば、積極的な伐採は控えられ、人工林は必然的に高齢化に向かっていくことになります。

本冊子の目的は、この高齢化に向かう人工林をどのように管理すべきか、それを考える上でヒントとなる情報を提供することです。ここでは私たちの研究成果にくわえ、既往の知見、そして森林施業に携わる現場のみなさんとの数々の意見交換会に基づいて、今現在、私たちが少しでも良いと考えている長伐期施業に向けた効果的な間伐方法について、1) 残す木の選定と成長促進、2) 間伐遅れの過密林対策、3) 病虫害リスク低減、4) 表土保全の 4 つの観点からポイントとなる考え方を示しています。これらに留意しつつ、適正な立木密度へ林分を誘導することで、林分の健全性と生産性を備えた長伐期林を目指すことが可能と考えています。ただし、どんな林でも長伐期林を目指せるわけではありません。本冊子では、目指す長伐期林の具体的な姿や誘導可能な条件についても参考となる情報を示しました。施業スケジュールについては、収益性の観点から、いくつかの異なる伐期（非皆伐も含む）をシミュレーションで比較し、間伐や皆伐の必要性を示すとともに最適伐期も例示しました。また、皆伐・再造林後の次世代の人工林管理についてもシミュレーションにより、有利と考えられる手法を示しました。まずは要約をご覧頂き、さらにご興味があるところはくわしい説明を行なった解説もご参照ください。

現在は大径材の材積単価が中・小径材と変わらないという状況になっていますが、木材研究者の私は、大径材には利用上多くのメリットがあり、可能な場所での長伐期・大径材林業は一つの理想であると考えています。本冊子に示されたポイントが今後の林業を考える上でヒントになればと願っています。

国立研究開発法人森林総合研究所四国支所長 外崎真理雄

人工林を持続的に管理していくために — そのポイントは？

私たちは四国の急傾斜地において「現在、高齢化に向かっている人工林をどのように管理していくのか？」という問いに答えるため、下図のような枠組みで研究を進めてきました。

高齢化の進む人工林をどう管理していくのか？

高齢化が進む人工林の現状 (p. 4)

長伐期に向けた効果的な間伐は？

残す木選定
と成長促進

p. 5, 6

基本は優勢木を残す
高齢でも間伐が重要

間伐遅れの
過密林対策

p. 7

間伐の強度は、風当
たりの違いなど立地
条件を考慮

病虫害
リスク低減

p. 8

間伐時の被害チェ
ックで長伐期化の
可否を判断

表土保全

p. 9

間伐で下層植生を
増やし表土流亡を
防止

適正密度への誘導

風当たりの
強い場所など

誘導困難

林分の健全性と生産性の両立
積極的な木材利用が可能な長伐期林へ

50年生までに
1000本/ha以下
が理想

長伐期以外の選択枝※

- 通常伐期 (40～50年生)・再造林
- 人工林以外
広葉樹林化、針広混交林化

※本冊子では扱いません。
巻末の文献を参照してください。

目標となる林分

80～120年生時点のスギ・ヒノキ林で
立木密度 200～500本/ha
収量比数 (Ry) 0.8以下
平均胸高直径 40～60cm
林分材積成長 10m³/年以上

【解説】

高齢人工林の実態
から学ぶ (p. 12)
他の解説ページも参考
にしてください。

最適な施業スケジュールは？

施業シミュレーション

今ある人工林の伐期は
どう設定すべき？

p. 10

従来よりも長い伐期 (60年生以上) が有利
長伐期といえども、どこかの時点で主伐
(皆伐) が必要

次世代の人工林を
どう管理？

p. 11

初期の保育間伐がその後の
積極的な利用間伐による収
益増加につながる

収益
土台となる森林づくり

〈要 約〉

高齢級化が進む人工林の現状

現在、国内では10齢級（林齢46～50年生）以上のいわゆる高齢級人工林が全人工林面積の約51%を占めるまでになりました。四国地方のスギ・ヒノキ林は9～11齢級（41～55年生）に集中し、全国的な傾向と同様に高齢級化が進んでいます（図1）。長期的には皆伐・再造林により齢級構成の平準化を進めていく必要がありますが（図2）、再造林がなかなか進まない現状にあって、当面は間伐を主体として「今ある高齢級人工林をどう管理していくのか？」という問題に取り組んでいかなければなりません。高齢級人工林には間伐遅れの人工林も含まれており、高齢級の過密人工林に対する管理手法が求められています。

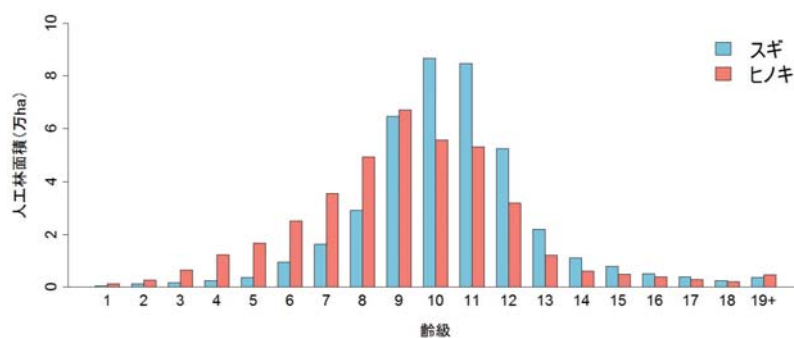


図1. 四国4県におけるスギ・ヒノキ人工林の齢級構成
19+は19齢級以上を表す。
(林野庁：森林資源の現況 2012年3月末現在)

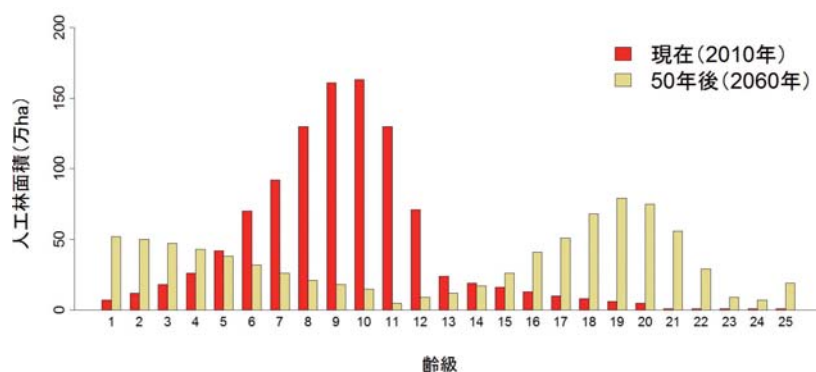


図2. 全国の人工林における現在（2010年）の齢級構成と50年後のイメージ
(林野庁 2014を元に作成)

ポイント

- 今後も増え続ける高齢級人工林を適切に管理していくため、
 - ・ 成長の見込める優勢木の選木
 - ・ 気象害・病虫害リスクを低減するため劣勢木を主体とした間伐
- など、手入れ不足の過密林を含む人工林の管理手法が求められています。

(宮本和樹)

〈要 約〉

大きい個体ほど間伐後の成長が良い！

現在ピークとなっている40～50年生人工林の例として、48年生スギ人工林を間伐した後の個体の成長をみてみます（図1）。個体サイズと直径成長量の関係では、

- ・ 間伐前の樹冠長、樹冠長率や胸高直径が大きい個体ほど間伐後の成長が良い。
- ・ 胸高直径が直径成長と最も明瞭な関係を示す。

ことがわかります。樹冠長率は植栽木の健全性を判断する指標のひとつとされてきましたが、間伐後の直径成長量を予測する点では、胸高直径との相関が高く、最も有効な指標といえそうです。また、直径や樹冠サイズの小さい被圧木・劣勢木では間伐後の成長が期待できません。

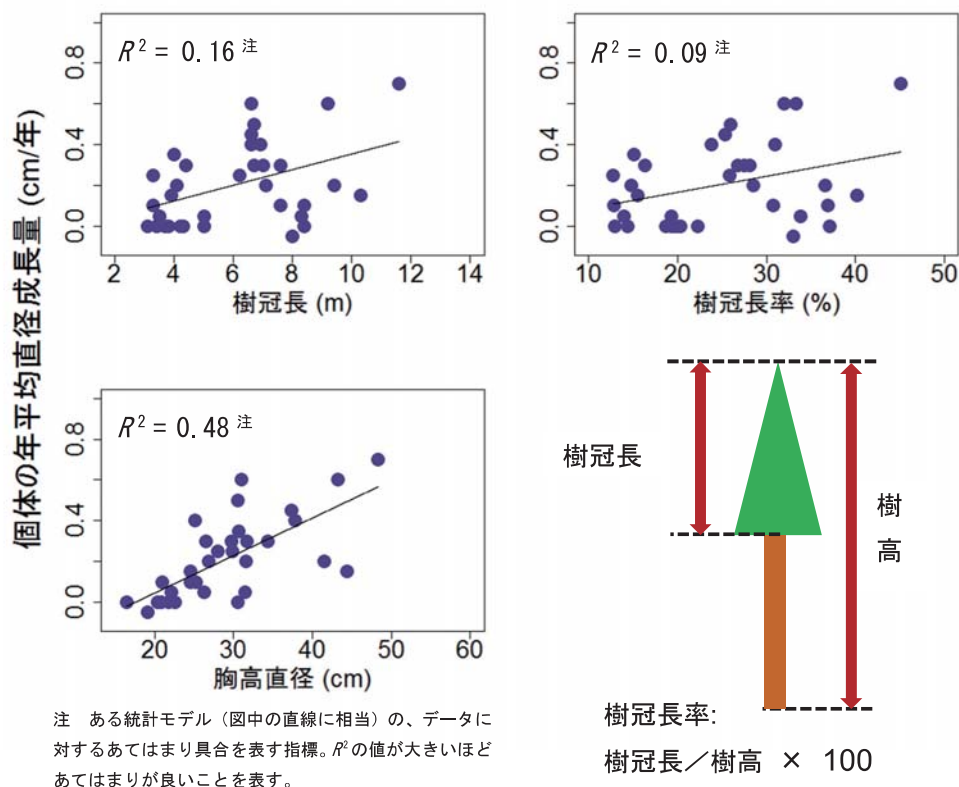


図1. 48年生スギ人工林（収量比数0.96）における間伐前の樹冠の大きさ（樹冠長、樹冠長率）および胸高直径と間伐後2年間の平均直径成長量との関係

ポイント

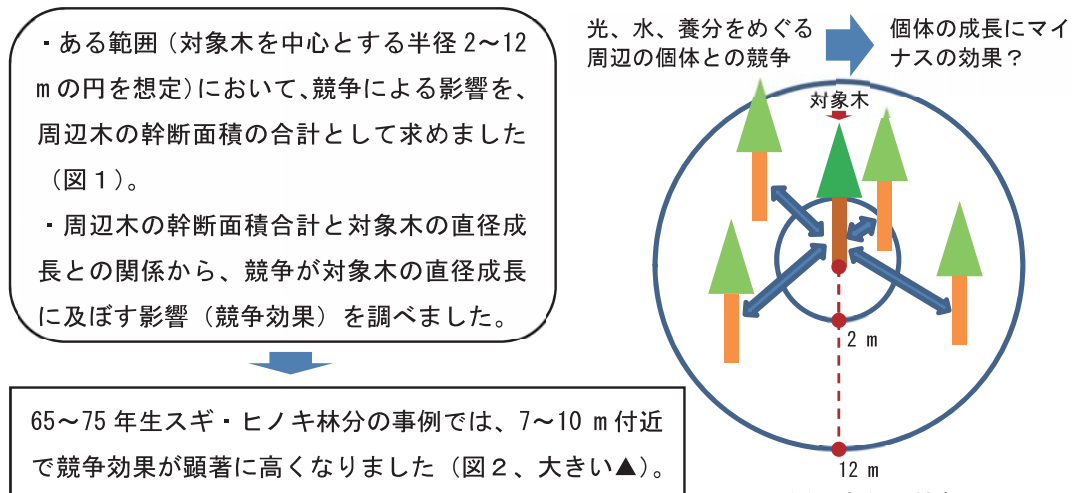
- ・ 被圧木や劣勢木は残していても間伐後の成長が期待できません。
- ・ 直径や樹冠の大きさから長期的に成長の見込める優勢木を残すように間伐することが重要です。

（宮本和樹）

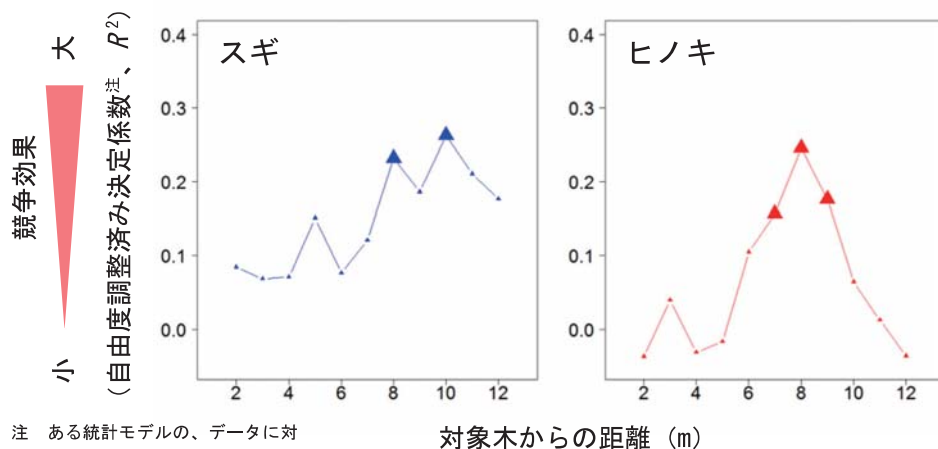
〈要 約〉

残した木の成長には周辺木との競争が影響

間伐後の植栽木の成長には、樹木どうしの競争が影響します。主伐まで残す木の成長に周辺の個体との競争がどのような影響を及ぼすのかを調べました。



65～75年生スギ・ヒノキ林分の事例では、7～10 m付近で競争効果が顕著に高くなりました（図2、大きい▲）。



注 ある統計モデルの、データに対する当てはまり具合を表す指標。

図2. スギ・ヒノキ林分（調査期間65～75年生時）における対象木からの距離と競争効果との関係

ポイント

- ・周辺木との競争が植栽木の直径成長に影響を及ぼしています。
- ・65～75年生のような高齢に近づきつつある林分でも、間伐による競争緩和が重要と考えられます。
- ・競争の影響を低減するために、主伐まで残す木がなるべく均等に配置されるように選木することが大切です。

（宮本和樹，詳細は14～15ページ）

〈要 約〉

強度な間伐の適用にあたっては注意が必要！

通常の下層間伐よりも本数を多く伐る強度間伐は、間伐遅れの過密林対策であると同時に、積極的な利用間伐により収穫量を増やすための選択肢のひとつです。ただし、1回で強い間伐を行うと林分に大きな空間をあけることになり、成長低下や水分ストレス、気象害リスクの増加など残存木への悪影響が懸念されます。これまで間伐が適切に行われなかった林分では、ひょろ長く、枝葉も少ない木が多くなっている場合が多く、適用にあたっては注意が必要です。

ここでは、強度間伐について過去の研究結果から得られた特徴をまとめました。

○強度間伐(本数間伐率40%以上の下層間伐を想定)

- ・スギ、ヒノキとも下層間伐であれば残存木の成長は概ね良好。
- ・肥大成長が促進され、形状比は改善。
- ・間伐率50%程度であれば6年程度で林分の葉量は回復し、林冠も閉鎖。
- ・南向き斜面や極端な間伐強度（本数間伐率75%など）では水分ストレスで枯死のおそれ。
- ・台風の頻発地域において、収量比数0.8以上の過密林分に対する強度間伐は、風害リスクを高めるおそれ（本数間伐率30%以下の通常間伐なら低リスク）。
- ・気象害発生は必ずしも間伐率が高い林分で高いわけではなく、上層間伐や列状間伐など林内に劣勢木が残る間伐で高い。



写真1. 強度間伐後に台風被害を受けたスギ林分（森林総合研究所四国支所 酒井敦 撮影）

ポイント

- ・過密林分に対して強度間伐を行う場合、間伐効果と気象害リスク低減の観点から、本数間伐率40～50%程度の下層間伐とするのが無難です。
- ・台風頻発地域や南向き斜面など風害の影響が大きい立地では強度間伐を避け、通常間伐を行うのが望ましいです。
- ・気象害発生には、間伐率だけでなく林内の劣勢木の存在が影響しており、間伐により劣勢木を除去することで被害の低減につながります。

（宮本和樹，詳細は16～17ページ）

〈要 約〉

病虫害による材の劣化を低減するために

スギ・ヒノキでは、材を変色や腐朽させる病虫害が発生することがあります。変色・腐朽被害は材内に蓄積していくので、林齢が高くなるのに伴って、林分内で被害を受けた木の占める割合が高くなっていきます。壮齢人工林の間伐の際に、間伐木の木口や切り株に変色や腐朽がどのくらいあるかチェックすることにより、伐期をどのように設定すればいいか検討することができます。その時点で変色・腐朽が多ければ、今後、林齢が高くなるほど、被害が増加するので、長伐期施業で高品質材を生産するのは困難であり、通常の伐期の方が有利になります。



図1. スギ・ヒノキの主要な材質劣化被害
左：根株腐朽被害. 中：キバチ類による被害. 右：スギカミキリによる被害

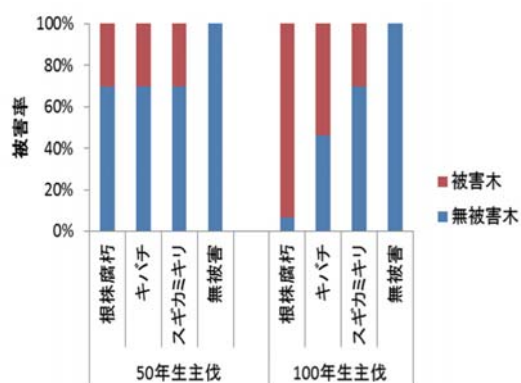


図2. 主要な材質劣化の被害率
50年生時点で被害率が30%の場合、50年伐期と100年伐期とで主伐収穫時の被害率を比べると、キバチや根株腐朽では被害率が高くなる。

代表的な材質劣化病虫害3種類について、予測モデルを使って50年生および100年生で主伐する場合で被害木の割合を比べました。キバチや根株腐朽の被害は林齢の増加に伴って発生頻度が増加するため、100年生では被害割合が50年生よりも高くなることが予測されます。

変色腐朽を起こす病虫害の中には劣勢木をより多く加害するものもあります。そうした林分では、間伐時に劣勢木を伐採して被害の増加を抑制するのが望ましいと言えます。キバチの被害は間伐の際に劣勢木を除去することで、主伐時の被害率の増加を抑制することができます。

ポイント

- ・ 壮齢人工林の間伐の際に変色・腐朽をチェックすることにより、適切な伐期を検討することが重要です。
- ・ 劣勢木除去により、主伐時の病虫害被害率の増加を抑制することが可能です。

(佐藤重穂, 詳細は18~20ページ)

〈要 約〉

人工林の表土を保全するために

表土が動くきっかけのひとつは雨の衝撃により表土が跳ね上げられることにあります。この雨の衝撃をやわらげ、表土の動きを小さくするには下層植生を増やし、落葉層を安定させることが重要です。そのためには適切な時期に間伐して林内の光環境を良好に保つことが必要です。もし手入れが遅れると、下層植生は少なくなり（写真1）、場合によっては落葉層が動いて地表面が露出することもあります（写真2）。このような場合はたとえ間伐をしても下層植生の回復には時間がかかってしまいます。そのため、特に傾斜が30度以上の表土が動きやすくなる条件の場所ではスギ・ヒノキにかかわらず計画的に早めに間伐をすることが望まれます。

適切な時期にやや強めの保育・利用間伐を行うことは、後述の施業シミュレーションシステムの解析から現在の木材価格や補助金制度の下でも、収益的に問題ない方法と考えられます。したがって計画的に間伐をすることは収益の面からも推奨できる方法です。なお間伐率が高いほど下層植生の増加が期待できますが、間伐はあくまで残す木を健全に育成することが第一の目的なので、強い風が当たるような場所では強度な間伐を避け、通常の間伐（本数間伐率25～30%）に抑える方が望ましいでしょう。



写真1. 下層植生がほとんど見られない



写真2. 地表面が見えている

ポイント

表土流亡の危険が特に高い人工林の条件は次の3つです。

- a. 林内が暗く、下層植生がほとんど見られない（写真1）。
- b. 林床が落葉で覆われておらず、土壌の表面がよく見える（写真2）。
- c. 30度以上の急斜面である。

特にa. b. については混み合ったヒノキ人工林でよく見られます。

この場合、人にできる対処法は限られていて、なるべく早急に間伐し、下層植生を増やす努力をすることが必要です。

（酒井寿夫、詳細は21～23ページ）

〈要 約〉

施業シミュレーションシステムによる 収益性の高い伐期の探索

戦後植栽された人工林の多くが、50年生前後の伐期を迎えています。しかし、木材価格の低迷やコスト高のために、伐採を先延ばしにするなど、林業経営を将来的に見通すことが課題となっています。そこで、さまざまな森林施業の組み合わせを想定して、最大の林業収益が得られる施業方法をみつけだすための施業シミュレーションシステムを開発しました。

このシステムを用いて、利益が最も得られる施業方法を考えられる施業シナリオ別に探索し比較してみました。50年生時の林分からスタートして100年後までのシミュレーションです。図1には、各シナリオにおける100年後までの利益を示しています。利益の合計額は①、②、③、⑤、④の順に高く、60年生以上で皆伐を伴う施業が、現状の林から持続的に林業収益を得るための戦略として有利であることが明らかとなりました。

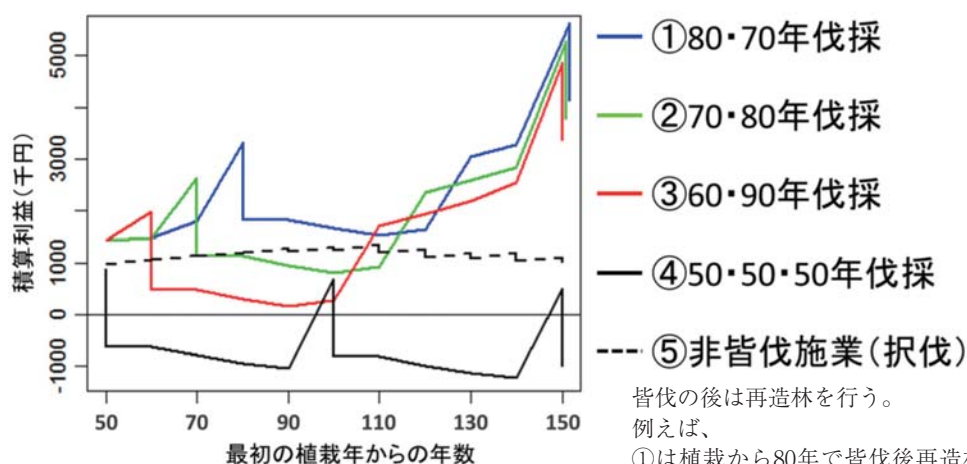


図1. 施業シナリオ別積算利益の比較

皆伐の後は再造林を行う。

例えば、

①は植栽から80年で皆伐後再造林、150年（その70年後）に皆伐・再造林。

⑤は生産目標（径級80cm）まで誘導伐を行った後、収穫伐を繰り返すことを想定。

ポイント

今あるスギやヒノキの人工林の施業を行う場合

- ・長伐期林を目指すとしても、どこかの時点で主伐（皆伐）が必要です。
- ・短伐期の繰り返しや、択伐による非皆伐型施業は、収益面から持続的経営は困難です。

（今回の結果は作成したシミュレーションシステムの暫定的な計算結果です。さらなる精度向上に向けた改良を行っています）

（北原文章・光田 靖、詳細は24～25ページ）

〈要 約〉

積極的な収入間伐が有利

施業シミュレーションシステムを用いて15年生の林分を初期林分（林分密度3,286本/ha）として最適な間伐方法、間伐強度、主伐期を探索しました。その結果、30年生までに強度な間伐を行った上で（強度間伐については7ページも参考にしてください）、30、40、50年生時に収穫間伐を行い、60年で主伐を行うという施業方法が最も利益を得ることができることが明らかとなりました。

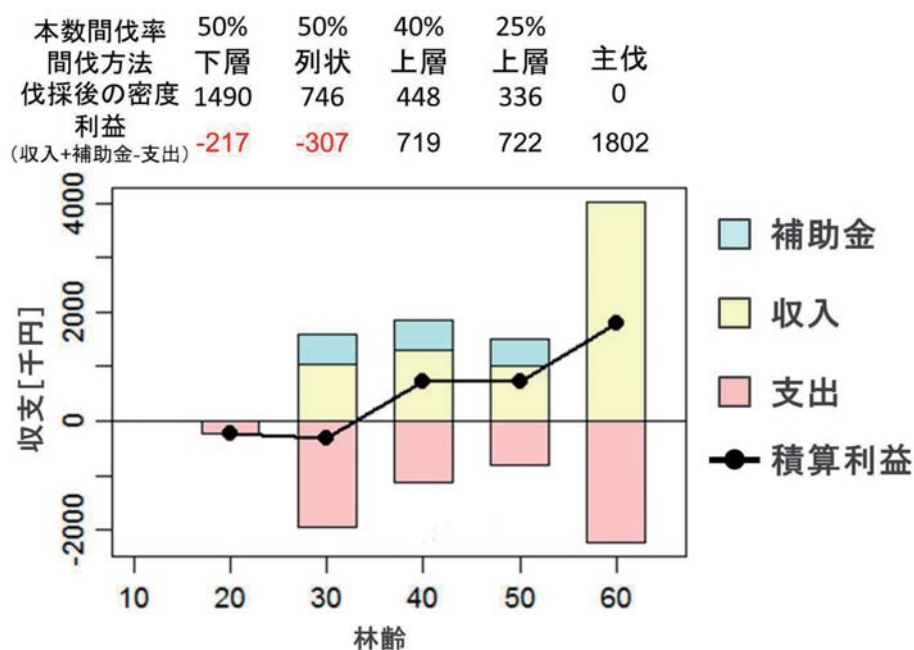


図1．選択された最適施業戦略

ポイント

- ・ 30年生時までの保育間伐によって劣勢木や不良木を減らすことが、その後の積極的な収穫間伐で収益性を上げるためには重要です。
- ・ 現在の木材価格では、収穫間伐によって優勢木を積極的に伐り、60年生で主伐を行うことが、最も利益を得られる施業です。

(今回の結果は作成したシミュレーションシステムの暫定的な計算結果です。さらなる精度向上に向けた改良を行っています)

(北原文章・光田 靖，詳細は26～27ページ)

〈解 説〉

1. 高齢人工林の実態から学ぶ

宮本和樹

今ある人工林を管理していく上で、目標・参考となる高齢人工林の状態はどうなっているのでしょうか？四国の80年生以上の高齢スギ・ヒノキ人工林32林分の現状をみてみます。

○高齢林の立地条件（地位）をみる — 林齢と平均樹高との関係

地位級別の樹高成長曲線を参考として林齢と平均樹高との関係（図1）をみると、地位の高いものから低いものまでさまざまな林分が含まれていました。スギ林では1等付近の地位の高い林分がほとんどみられませんでした。条件の良い場所のスギ林は早いうちに主伐されて高齢林としては残っていない可能性が考えられます。南向き斜面の凸型地形で乾きやすい場所では他よりも平均樹高が極端に低い林分もみられました。

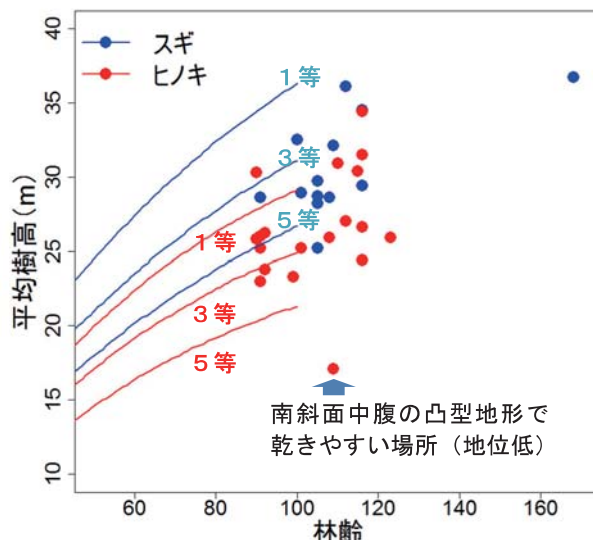


図1. 四国地方の80年生以上の高齢スギ・ヒノキ人工林における林齢と平均樹高の関係

本研究プロジェクトならびに高知県立森林技術センター深田英久氏の調査データに基づく。

曲線は地位級別樹高成長曲線、数字は地位級を表す。

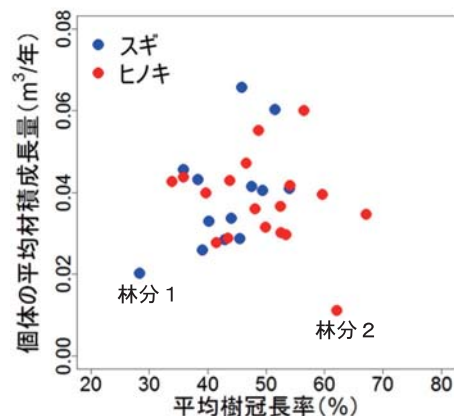
（高知県森林局 2006 を元に作成）

○個体の成長と葉量の状態は？

スギ、ヒノキ共に多くの林分で、個体の平均材積成長量は $0.03 \text{ m}^3/\text{年}$ 以上、平均樹冠長率は40%以上を維持していました（図2）。個体の直径成長量も多くの林分でおおむね $0.3 \text{ cm}/\text{年}$ 以上を示しました（図3右）。

図2. 高齢スギ・ヒノキ人工林における個体の平均樹冠長率と平均材積成長との関係

50年以上無間伐のままの林分1や、図1に示した平均樹高の極端に低い林分2では、個体の材積成長量が他と比べて低くなっていました。また、林分1の樹冠長率は30%以下となっていました。



○高齢人工林の混み合い度と成長—どのような長伐期林に？

前頁の林齢と平均樹高との関係（図 1）から、おおまかに地位が高い林分（地位級 1－2 等）と低い林分（地位級 3 等以下）に分けて、立木密度と成長との関係を見ると図 3 のような傾向となりました。林分の材積成長量は立木密度にかかわらず地位の高い林分で高く、個体の直径成長量は立木密度が低いほど高い傾向でした。また、ほとんどの林分で、収穫表から予想される林分の材積成長量と個体の直径成長量を上回っていました（図 3 右・左、点線との比較）。以上のような傾向は、立木密度のかわりに収量比数でみた場合でもほぼ同様でした。今回対象とした高齢林の多くは、定期的に間伐が行われてきたために個体の生育が良好であったと考えられ、目指す長伐期林の具体例といえます。長伐期化にあたっては、なるべく地位の高い林分を選ぶことと、間伐により立木密度を適切に管理することが重要です。

最近の研究によれば、高齢林の幹材積や個体サイズには 50 年生頃までの立木密度の影響が大きいようです。高齢林（100 年生頃）の立木密度は同程度でも、50 年生時の立木密度が低い林分ほど高齢林になった時の平均直径が大きいこと（森林総合研究所 2014）や、50 年生までに 500～1000 本/ha 以下のヒノキ林分では、その後間伐を省略しても比較的高蓄積（約 600～1300 m³/ha）の高齢林となったことが報告されています（鈴木ら 2009）。

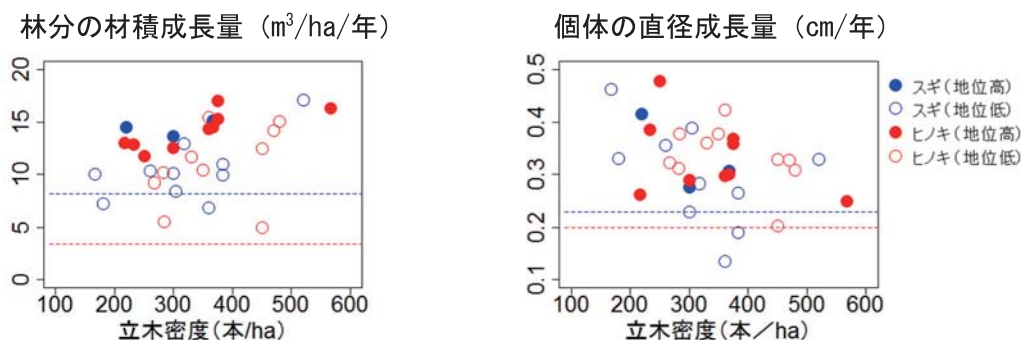


図 3. スギ・ヒノキ高齢林における立木密度と林分の材積成長量（左）

および個体の直径成長量（右）との関係

点線は収穫表に基づくスギ（青色）とヒノキ（赤色）1 等地における 96～100

年生時の成長量（高知県森林局 2006）を示す。

目標とする長伐期林の林相の目安として、今回の高齢人工林の立木密度、収量比数や幹サイズと成長についてまとめると以下になりました。今回対象とした高齢林では、過密林の目安とされる収量比数 0.8（全国森林組合連合会 2012）を上回ったのは 32 林分中ヒノキ林の 6 林分のみで、過密な林分は全体的に少ないといえます。

立木密度： 167～567 本/ha（多くは 200～500 本/ha）、収量比数：0.4～0.9

平均胸高直径： スギ 41.9～64.2 cm、ヒノキ 31.4～59.8 cm

林分の材積成長量： 立木密度にかかわらず、特に地位の高い林分で

スギ、ヒノキいずれも比較的高い値（10 m³/ha/年 以上）

<解 説>

2. 樹木どうしの競争に配慮した選木と間伐

宮本和樹

○長伐期施業と個体管理

長伐期施業では、長期にわたり主伐（択伐）時まで残す木の価値を高めていく必要があります。また、立木密度が低下し残存する木の多くが大径木となる高齢林では、間伐自体が収穫となります。そのため、

- ・ 主伐（あるいは択伐段階）を想定し、長期的にどの木を残すかを判断
- ・ 1本1本の木の形質に着目して主伐まで残す木を選ぶ

という、個体管理の考え方が重要となってきます。

○個体管理の特徴

個体管理の特徴を、下層間伐を主体とした林分管理とおおまかに比較しました。

	林分管理（下層間伐）	個体管理
主伐まで残す木	絞りこまずなるべく均質に保育	早期に絞り込む ^{注)}
収穫	主伐時の収穫を重視	主伐（択伐）を重視しつつ、それまでの間伐収穫も期待
間伐（材）	被圧木、劣勢木が主体	「主伐まで残す木」以外の木で、優勢木も含まれる

注) おおよその目安として、吉野地方では植栽木の形質の良し悪しの差が明確になるとされる35年生頃に選木が行われてきました。また、ドイツの択伐林施業では林冠が閉鎖する20～30年生時に行うとされています（藤森 2013）。

長伐期における個体管理では、間伐に対して保育だけでなく収穫としての側面をより期待しているといえます。主伐まで残す木を早期に絞り込んでおくと、残す木以外の「伐る木」の選択の幅が広がります。特に、残す木以外の優勢木については、主伐（択伐段階）に至るまでの間伐収穫として期待できます。実際には林分管理と個体管理の線引きは必ずしも明確ではなく、施業の結果、最終的な林分の状態は似通ってくることも想定されます。いずれの考え方を重視するかは、いつの時点でどのような径級の材をどれだけ得たいのかという生産目標や、経営事情等を勘案して選択することになります。

○競争が個体の成長に及ぼす影響

吉野地方などの長伐期施業では、主伐まで残す木を選ぶための基準として、枝張り（樹冠の大きさ）や幹の通直性とともに、植栽木どうしの間隔（配置）が重要とされてきました。植栽木の間隔については長年の経験によることが多く、競争による植栽木の成長への影響やその範囲についてデータに基づく検証は十分に行われていませんでした。

そこで、周辺木との競争の大きさを表す指標として、植栽木の周囲 2～12 m 以内の範囲にあるすべての周辺木の大きさの合計（地上 1.3 m での幹断面積の合計）を求め、これと対象木の直径成長との関係を競争効果として調べました（6 ページの図 1 を参照）。

その結果、65～75 年生の林分ではスギ・ヒノキともに周辺木との競争が対象木の直径成長に影響を及ぼすことが示されました。この競争効果が統計的に有意となったのは、スギ・ヒノキの結果をまとめると対象木から 7～10 m の範囲となりました（6 ページの図 2 を参照、宮本ら 2015）。同様の傾向が秋田スギ高齢人工林でも報告されています（Masaki et al. 2006）。周辺木との競争による個体の成長低下への影響がみられたことから、高齢林においても植栽木どうしの競争を緩和するために間伐が重要であることを示しています。ただし、このような競争の効果が一般的にみられる現象かどうかを明らかにするためには、立木密度や地位、施業履歴などの要因を考慮した、さらに多くの事例による検証が必要です。

○施業面での応用

今回の結果から、以下の点が重要と考えられます。

- ・ 残す木どうしの競争を低減し成長を維持するため、高齢林においても間伐が必要
- ・ 残す木の適正な本数を考えるとともに残す木どうしが均等に配置されること

○主伐まで残す木の適正な本数は？

競争の効果が統計的に有意に表れた、対象木から 7～10 m の距離をもとに、競争を避けるための適正な立木本数を求めると、

- ・ 100～200 本/ha
- ・ 150～300 本/ha（5 割程度本数に余裕を持たせる場合）

となります。現実の高齢林の立木密度と比べてやや少ないものの、大差はないといえるでしょう（P12～13 の解説参照）。ただし、この本数は目安程度に考え、実際には地位や林分の状況、主伐時の目標直径や生産目標など諸条件を勘案した上で決める必要があります。

<解 説>

3. 強度間伐および上層間伐が樹木に及ぼす影響

宮本和樹

手入れ不足の過密林に対して、多間伐をせずに適正な立木密度へ誘導するためには、ある程度強度な間伐が必要です。また、主伐・再造林が困難な現状にあって、積極的な間伐により収穫を増やして利益を上げていくことは、経営的側面からも有効な選択肢のひとつです。しかし、1回に多くの木を間伐する強度間伐や優勢木の間伐を主体とする上層間伐については、残存木の成長や気象害リスクなどの点から、その適用を慎重に検討する必要があります。以下では要約で示した強度間伐に加え、上層間伐の特徴についても過去の研究事例を中心に説明します。

○強度間伐

ここでは、1回の間伐で本数間伐率 40%以上の間伐を強度間伐としてあつかい、残存木の成長やストレス、気象害リスクについて特徴を挙げます。詳しくは、当研究所発行の強度間伐の冊子（森林総合研究所 2010）を参照してください。

a. 成長・材質への影響

- ・ スギ・ヒノキ林いずれも間伐後の残存木の成長はおおむね良好であることが報告されています（大矢・近藤 2013 ほか）。
- ・ 肥大成長が増大して形状比の改善が期待できる一方、ウラゴケとなる傾向があります（図 1；深田ら 2009a；正木ら 2013）。
- ・ 間伐率 50%のヒノキ林分では、間伐後 6 年で通常間伐（間伐率 30%）と葉量の違いがみられなくなり、林冠が閉鎖しました（森林総合研究所 2010）。

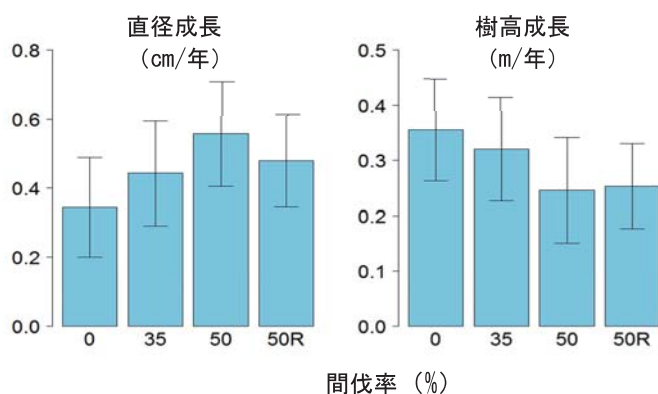


図 1. 異なる間伐強度のヒノキ林分における直径および樹高成長の比較（宮本ら未発表）

0, 35, 50, 50R はそれぞれ本数間伐率 (50R は列状間伐)、エラーバーは標準偏差を示す。

b. 水分ストレス

- ・ はっきりとした兆候は認められていません（宮本ら 2012）。
- ・ ただし、本数間伐率 75%以上など極端な強度では、土壌中の水分が十分あるにもかかわらず、葉が水分ストレスを受ける傾向がみられました（森林総合研究所 2010）。

c. 気象害リスク

- ・ 収量比数 (Ry) が 0.8 以上の過密林で本数間伐率 40% 以上の場合、風害による根返りのリスクが高まることがシミュレーションで示されています (森林総合研究所 2010)。
- ・ 台風の頻発地域では、間伐率の違いによらず台風の風向である南～南東斜面で被害が多い傾向でした (深田ら 2009b)。台風の影響が少ない地域の場合、下層間伐で劣勢木が除去されれば強度間伐でも気象害発生は少ない傾向となりました (大矢・近藤 2013)。

○上層間伐

上層間伐はサイズの大きい優勢木を主体に伐採する間伐手法です。比較的大きな間伐材積が得られることがメリットですが、劣勢木が残存するため気象害リスクが高まるといったデメリットも指摘されています。しかしながら、上層間伐による気象害リスクや残存木への影響を科学的に評価した事例は不十分なのが現状です。

a. 間伐後の成長

- ・ 下層間伐とくらべて成長は良好とする事例もありますが、一般的な傾向は不明です。
- ・ 20 年生のヒノキ林で、材積間伐率で 20～30% の上層間伐あるいは下層間伐を繰り返した事例では、39 年生時の総収穫量 (その時点の林分材積と過去の間伐材積の合計) はいずれも約 500 m³/ha で、間伐方法による違いはみられませんでした (図 2)。

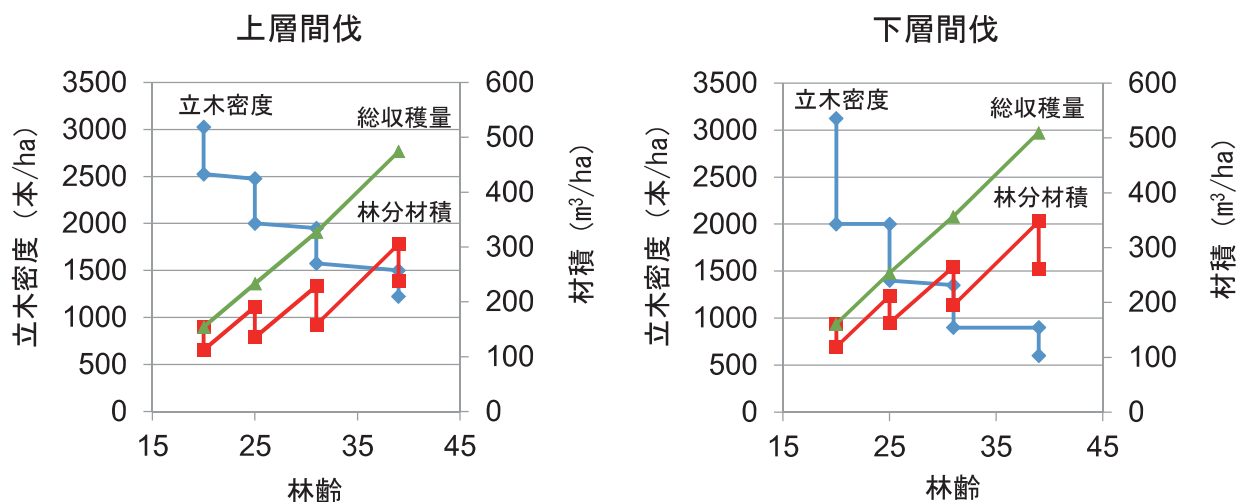


図 2. ヒノキ 20 年生林分における上層間伐 (左) と下層間伐 (右) の立木密度、林分材積および総収穫量の比較 (川崎 1995 を元に作成)

b. 気象害リスク

- ・ 下層間伐よりも残存木の形状比 (樹高/胸高直径) は高めの傾向となります。
- ・ 林内の劣勢木の多さが気象害の発生要因として重要です (大矢・近藤 2013)。
- ・ 50 年以上無間伐で放置した高齢ヒノキ林分 (91～97 年生) の事例では、上層間伐後には形質不良木が多く残ると報告されています (渡邊ら 2015)。

<解 説>

4. 病虫害による材の劣化を低減するために

佐藤重穂

○スギ・ヒノキに発生する材質劣化被害の特徴

樹木は生き物であり、材の中に腐朽（くされ）やそれに伴う樹洞（うろ）が生じることがあります。植林されたスギやヒノキでも材の変色や腐朽が発生することがあり、その主な原因は病虫害、獣害、人為的な傷害と考えられます（図1）。間伐などの作業による部分的な剥皮のような、外観から分かる傷害に対しては、殺菌効果のある癒合剤を塗布することで腐朽菌の侵入をある程度防げます。また、シカなどが樹皮を剥ぐ被害に対しては、被害防除用の資材を立木に巻き付けることで被害を低減できます。

一方、材を変色や腐朽させる病虫害については、スギ・ヒノキでは外観から分かりにくいのが特徴です（小林 1986；佐藤 2008）。四国地域でスギ・ヒノキに発生する代表的な病虫害としては、根株腐朽病害、キバチ類、スギカミキリなどがあげられます（阿部 2002；槇原 2002）。これらの加害を受けても、多くの場合、樹木は枯死しませんが、変色・腐朽は材内に残ったまま蓄積していき、林齢が高くなるにしたがって、林分内で被害木の占める割合が高くなっていきます。変色・腐朽した材は市場価格が低下します。



図1. 人工林の剥皮被害の事例（左：シカによる被害、右：搬出間伐時の立木の剥皮傷害）

○材質劣化被害割合の林齢に伴う変化の予測

病虫害の種類によって、林齢と被害発生頻度の関係はそれぞれ異なります。林齢と病虫害の発生頻度との関係をモデル解析しました（図2）。このモデルでは、林齢に関わらず被害が発生する密度一定型（キバチ類など）、高齢級になるほど被害が発生しやすい密度増加型（根株腐朽など）、比較的若い林分で被害が多く発生する一過性型（スギカミキリなど）の3種類の加害パターンを想定しました。

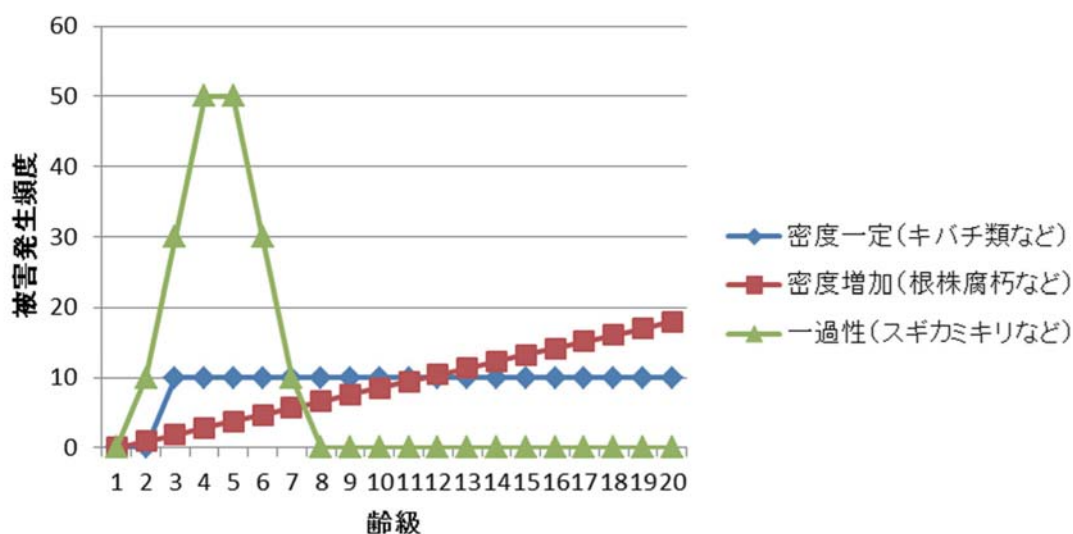


図2. 3通りの加害パターンにおける齢級ごとの被害発生頻度

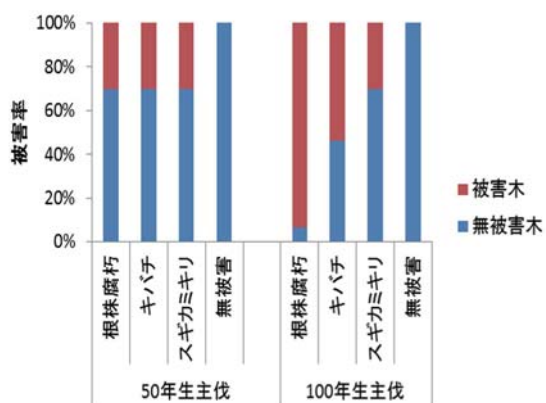


図3. 主要な材質劣化の被害率
50年生時点被害率が30%の場合、50年伐期と100年伐期とで主伐収穫時の被害率を比べると、キバチや根株腐朽では被害率が高くなる。

モデル解析により林分内に被害木がどの程度の割合を占めるかを齢級ごとに推定したところ、たとえばキバチ類の被害では、50年生（10齢級）では無被害木が多く収穫できるのに対して、林齢の上昇に伴って被害率が増加するため、100年生（20齢級）では逆転して収穫される材は被害木の方が多くなり、被害率が50年生時の1.8倍となることが予測されました（図3）。したがって、壮齢時に被害がある程度みられる林分では、その後、長伐期施業にすると、主伐時の被害リスクが増大するものと推測されました。

○間伐時の被害割合のチェックが重要

ここにあげた根株腐朽、キバチ類、スギカミキリなどによる被害は、外観からは分かりにくいので、立木の状態では林分内にどれだけ被害木があるか判別できません。そこで、間伐する際に、間伐木の木口や切り株に変色や腐朽がどのくらいあるかチェックすることが重要です。間伐木の被害割合を判断材料として、変色や腐朽している材が多ければ、その林分では今後、林齢が高くなるほど、被害が増加していくことが予測されます。

○壮齡林の施業方法と材質劣化被害割合の予測

現在10齡級(50年生)前後の壮齡林を20齡級(100年生)で主伐するまでの間伐方法によって、収穫材積に占める材質劣化被害の割合がどのように異なるのか、先にあげた被害割合の変化を考慮して予測しました。間伐方法としては、下層間伐、中層間伐、無間伐の3通りを想定しました。下層間伐と中層間伐ではいずれも20齡級までに途中で何度か収穫間伐をすることとしました。材質劣化被害としては、劣勢木で被害量が多いことが知られているキバチ類の被害を想定しました。

スギを100年生で主伐するまでの収穫材積を予測したところ、下層間伐の場合は被害木が間伐時に除去されて主伐時に無被害材が多く残りますが、中層間伐の場合は間伐時に無被害木を多く収穫して、主伐時に被害材が多く残り、一方、無間伐では劣勢木が林分内に多く残り、主伐時に被害材積の割合が高くなることが予測されました(図4)。

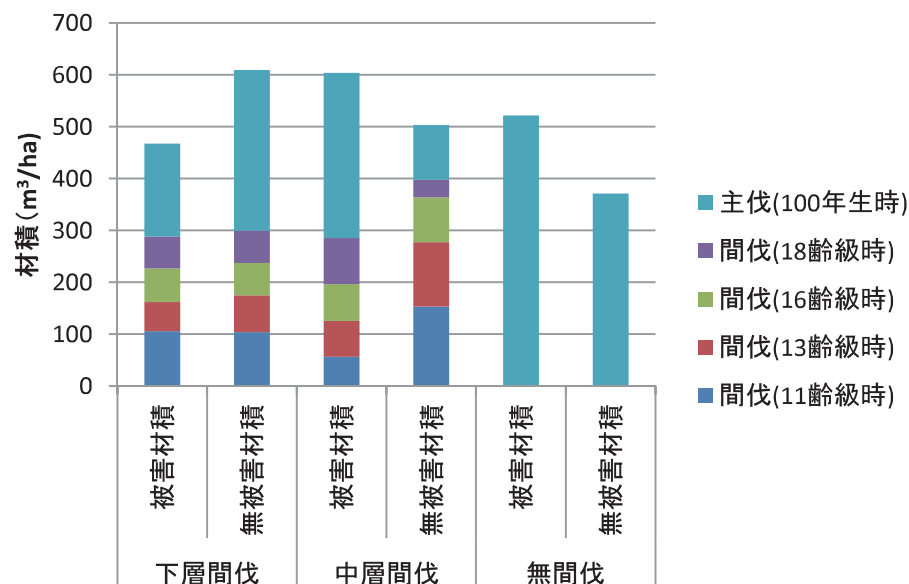


図4. 間伐方法の違いによるそれぞれの収穫時の被害および無被害材積

○材質劣化被害の発生林分での施業

これらの結果から、スギ・ヒノキ人工林の壮齡時の間伐の際に材の木口や伐根をチェックして、その後の施業方針の判断材料とすることがポイントとしてあげられます。この時にキバチ類の被害や根株腐朽病害などの被害がみられる林分では、高齢級での主伐時には高品質材を多く収穫するのが困難であるものと推測されます。こうした林分では被害を考慮して、被害率が高くないうちに主伐を実施するのも施業の選択肢の一つと言えます。また、長伐期施業で高品質材の生産を目標とする場合は、キバチ類の被害が発生している林分では、下層間伐によって被害木を除去することが望ましいと考えられます。

<解 説>

5. 人工林の表土を保全するために

酒井寿夫

○表土移動のしくみ

ヒノキ林は他の樹種の林に比べて急傾斜地で表土が動きやすくなることが知られています。表土が動くきっかけは“雨”にあります。雨は地面に当たるときに衝撃を与えます。それによって表土は跳ね上げられ、少しずつ斜面を下っていくのです。さらに、一晩で 200～300mm 以上にもなる豪雨のときは、水の集まりやすい所で地表面を水が流れる場合があります。水が流れるときのエネルギーはとても大きいので、このような場合、表土は大きく削られてしまい、侵食されることになります。特に四国は大雨が多く急峻な地形が多いので、林業を行う上でも表土保全を考えることが大変重要となります。

一般に、森林土壌は下層植生や落葉・落枝に覆われていて、表土は雨滴の衝撃から守られています。このような状態だと、表層の土壌は有機物を多く含んで水が浸透しやすくなります。そして、かなりの大雨の場合でも雨水は速やかに地中に吸い込まれるため、地表を流れる水が発生するケースは少なくなります。

ところが、ヒノキ人工林の場合は少し異なり、立木密度の高い 30～40 年生くらいまでは林内がとても暗くなりやすく、林床植生が発達しにくい上(写真 1)、落葉が細くなりやすいため、それが表土と混ざり、土壌表面を覆う落葉・落枝の層が発達しにくくなります。このため、ヒノキ林の表土は雨の影響を直接受けやすくなり、表土が動きやすくなるのです。



写真 1. 35 年生ヒノキ林の林床

そのため、ヒノキ林ではしっかりと強めの間伐を行って、林内を明るくし、下層植生の生育を促すことが表土保全のために良いとされているのです。一方、スギ林の場合はどうかというと、ヒノキ林ほどではありませんが、やはり傾斜 30 度以上の斜面になると表土に影響があることがわかってきました。そのため急斜面では、樹種にかかわらず、表土保全への配慮が望まれます。

○下層植生の効果

では、下層植生が多い場合、どれくらい表土流亡の抑止につながるのでしょうか？それを調べるために、ここでは土砂受け箱による研究事例から、下層植生の量についての記載があるものを利用して、斜面傾斜度と表土移動量の関係を整理しました(図 1)。

この図からわかることは、下層植生が少ない場合、スギ林、ヒノキ林ともに急傾斜地になるほど表土移動量が大きくなり、特にヒノキ林でより大きくなりやすい、ということです。一方、下層植生の多い場合は、たとえ急斜面であったとしても、スギ林、ヒノキ林ともに表土移動量がとても小さく抑えられている、ということです。このように下層植生のもつ表土保全効果は、とても大きいということがわかります。

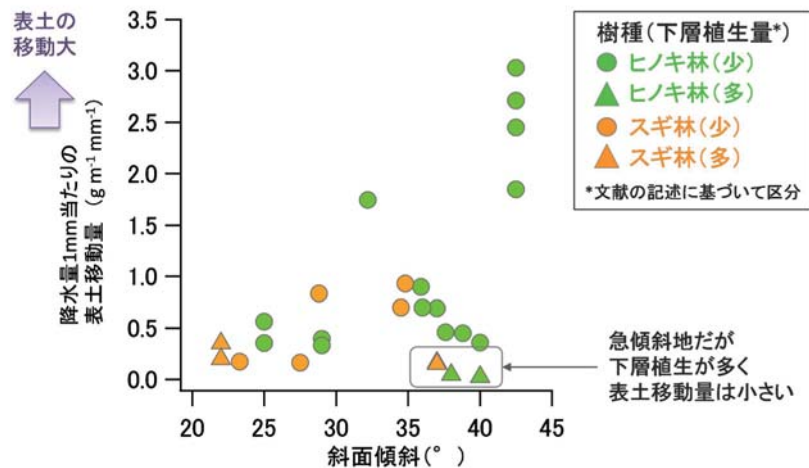


図 1．斜面傾斜と表土移動量の関係

○斜面傾斜が表土の有機物量に及ぼす影響

それでは斜面傾斜は表土の有機物量にどの程度の影響を及ぼしているのでしょうか？もし、急傾斜地で表土が大量に流亡しているようなら、本来、土壌の表層に貯まっているはずの有機物が少なくなっているはずです。

このような観点から高知県（中土佐町、四万十町、いの町、香北町、安芸市）のヒノキ林とスギ林で、堆積有機物（落葉層）と土壌（0-30cm）の有機物量を調べました。堆積有機物量については、ヒノキ林、スギ林ともに急斜面（>35 度）において、やや少なくなる傾向がみられました（図 2）。また、土壌の有機物量（0-30cm の炭素量）は、ヒノキ林、

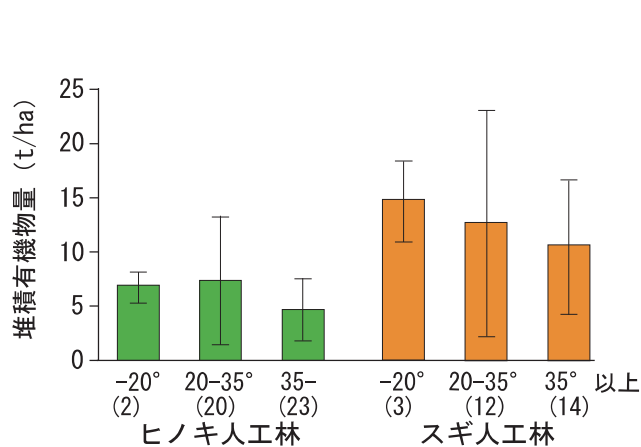


図 2．調査林分の堆積有機物量（括弧内は調査数）

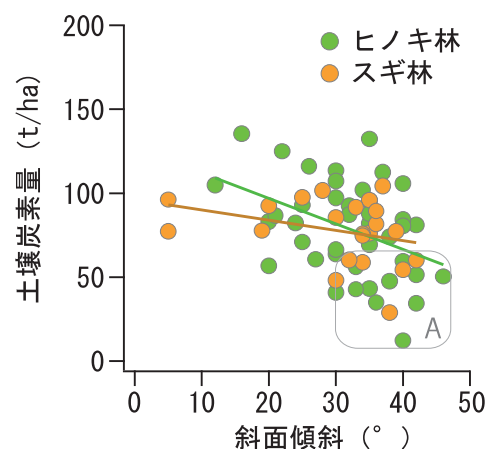


図 3．斜面傾斜と土壌炭素量の関係

スギ林ともに傾斜が 30 度を超えると、明らかに土壌の有機物量の少なくなっている場所が多くなっており（図 3 の A の部分）、急傾斜地では表土流亡の危険性が高くなっていることがわかります。

○人工林の表土を保全するために

これまで解説してきたように、表土保全に特に注意を払う必要があるのは、30 度以上の急斜面で、かつ下層植生や落葉層などに地表が覆われていない場合です。間伐により林内の光環境を改善するのは有効な対策の一つです。

また若齢級の林分で保育間伐する場合は、図 4 のように倒した木を適当な長さに切って等高線に沿って並べると表土流出の防止に役立つことがわかっています（山瀬ら 2003）。

もし間伐が遅れてしまい、下層植生がほとんどなくなるような状態を作り出してしまうと、たとえ強度に間伐を行ったとしても、なかなか下層植生が回復しないことが多いようです。このため、急傾斜地では計画的に早めに間伐をして、下層植生がなくなってしまうような状況を避けることが重要です。



図 4．間伐木を使った筋工

人にできる対策には限界があり、自然の力にはどうしても勝てない場合があります。森林があれば斜面崩壊を防げるというような議論をたまに聞くことがありますが、樹木の根系による表層崩壊防止効果にも限度があり、“何十年に一度の”と言われるような大雨のときには、限界を超えて崩壊に至ってしまうのが現実です。

土壌侵食についても同じことがいえて、35～40 度を超えるような急傾斜地においては、どんなに丁寧に森林管理を行っていても、豪雨時の表土の動きを完全に抑えることは不可能です。このような場所では、将来的に林業活動を避けていくことを考えても良いかもしれません。

＜解 説＞

6. 施業シミュレーションシステムによる収益性の高い伐期の探索

北原文章・光田 靖

戦後植栽された人工林は、当初想定されていた伐期を迎えています。しかし、経営上の問題から主伐を先延ばしにする林分が多くみられるようになり、今後の長伐期施業へ向けた施業の指針は未だに体系化されていません。このような状況の下、個人や森林組合などで人工林の施業や管理に携わっている人達の中には、今、目の前にある人工林を、将来に向けてどのように管理していくべきか？と悩んでいる方も多いのではないのでしょうか。

私たちは“収益”の面から、こうした悩みを小さくしていけるような支援ツールを作ることができないかと考え、施業シミュレーションシステムの開発を行いました。

このシステムにおいて核となるのが、1) 現実の施業に対して高い再現性をもつ“林分成長モデル”の開発と、2) 伐採・搬出などの経費を算出するための“伐出コストモデル”の開発です。

○施業方法の探索（最適化）

開発した成長モデルと伐出コストモデルを組み合わせた施業シミュレーションシステムを用いて、経済的に最も有利な施業方法の探索を行いました。成長モデルによって様々な間伐条件の下での成長を予測し、間伐時と主伐時にどのような径級の素材が、どのくらい生産されるかを推定することができます。この予測値を使って間伐および主伐による収入を計算しました。他方、伐出コストモデルによって様々な条件に応じた間伐および主伐に係る伐出経費を推定することができます。ここでは、伐出作業システムとして、チェーンソーによる伐倒、スイングヤードによる集材、フォワーダによる運材、そしてプロセッサによる造材というシステムを想定して伐出コストを計算しました。間伐や主伐における収入と支出の差から利益を算出し、この総利益が最大となるような間伐条件および主伐時期を探索しました。

間伐を最適化する際に選択できるオプションは、間伐方法（無間伐、下層、中層、上層、全層≡列状）、間伐強度（本数間伐率 5～60%）、および伐り捨て間伐と搬出間伐の選択という 3 項目です。これらの組み合わせから、対象となる間伐だけの利益ではなく、将来の成長および利益も考慮して最も経済的に有利な間伐方法を探索します。20 年生以降を対象として 10 年間隔で間伐の意志決定をすることとし、50 年生以下の搬出間伐については補助金を考慮することとしています。

○皆伐・非皆伐施業の比較

日本のスギやヒノキの人工林で一般的に行われる皆伐をとまなう施業と、ドイツやオーストリアで行われている天然更新を前提とした非皆伐施業の収益性について比較を行いました。30 年生時に間伐履歴のある 50 年生の林を初期林分として、100 年後まで複数の施業

シナリオを仮定してシミュレーションを行いました。皆伐施業シナリオとしては、①80・70：30年後（80年生）に皆伐、再造林後70年生で皆伐、②70・80：20年後（70年生）に皆伐、再造林後80年生で皆伐、③60・90：10年後（60年生）に皆伐、再造林後90年生で皆伐、④50・50・50：50年で皆伐を3回繰り返すという4つのシナリオで、途中の間伐については最適化を行っています。非皆伐施業シナリオとしては、⑤択伐：生産目標（径級80cm）まで3回の誘導伐（中層間伐）を行い、誘導後収穫伐（上層＋支障木）を想定しました。

要約版の図1と表1には、それぞれのシナリオにおける利益が示されています。利益の合計額は①、②、③、⑤、④の順に高く、60年生以上で皆伐を伴う施業が、現状の林から持続的に林業収益を得るための戦略としては有利であることが示されました。しかし、更新費用（皆伐を行う場合は再造林費用、天然更新を仮定している非皆伐施業については、スギやヒノキでは天然更新が難しいと考えられるので補植費用）を考慮すると、50年伐期を3回行う④はマイナスの純利益となりました。以上の結果より非皆伐施業は、短伐期のシナリオ（④）と比べて収益性は高いものの、60年から90年間隔で皆伐を行う施業より不利となることが確認できました。また、日本型の皆伐シナリオ（①～④）では最適な収穫間伐として上層間伐が選択されていますが、拡大造林期に想定されていた下層間伐による短伐期施業（下層間伐で50年伐期を繰り返す）とした場合は④より純利益が低く、収益面から不利であることが示唆されました。

今回、施業シミュレーションシステムを用いて皆伐・非皆伐施業の収益性の比較を行いました。成長モデルの精度向上や、木材価格の将来の変動（シミュレーションシステム内での収入は周辺の市場価格*を想定）を考慮するなど、さらなる改良が必要です。また、大きな攪乱を伴う皆伐施業と択伐により利益を得る非皆伐施業において、山づくりの視点からの比較検討も十分に出来ていません。今後、施業の違いによる下層植生や土壌へ影響や、風害などによる災害耐性についても検討していく余地があります。

* 参考価格：スギ4m材（直材）

径級	価格
8 - 14cm:	¥8,500
14 - 18cm:	¥10,500
18 - 24cm:	¥15,000
24 - 30cm:	¥16,000
30cm < :	¥14,000

表1. 施業シナリオ別の利益（単位：千円）

施業シナリオ	伐採齢	利益	更新費用	純利益
皆伐施業	① 80・70	7128	3000	4128
	② 70・80	6785	3000	3785
	③ 60・90	6381	3000	3381
	④ 50・50・50	3501	4500	-999
非皆伐施業	⑤ 択伐	1740	720	1020

<解 説>

7. 積極的な間伐収穫をめざした施業

北原文章・光田 靖

○最適施業スケジュール

15年生の林分を初期林分（林分密度3,286本/ha）として、間伐方法および主伐時期の最適化を行いました。20年生以降から10年間隔で間伐を行うかどうかの意志決定をすることとし、50年生以下の搬出間伐については補助金を考慮することになっています。解説6と同様に、間伐を最適化する際のオプションは、間伐方法（無間伐、下層、中層、上層、全層⇨列状）、間伐強度（本数間伐率5～60%）、および伐り捨て間伐と搬出間伐の選択という3項目です。ここでは、林業を取り巻く状況が現況のままであると仮定して、あるひとつの林分についてどのような間伐を行い、いつ主伐すればより利益を得られるのかの探索を行いました。

施業シミュレーションを用いて最適間伐方法の探索を行った結果、20年生時に50%の下層切り捨て間伐後、30年生時に50%の列状間伐、40、50年生時にそれぞれ40%、25%の上層間伐による収穫間伐を行った上で、60年で主伐する施業方法が最も利益が得られることが明らかとなりました（図1）。

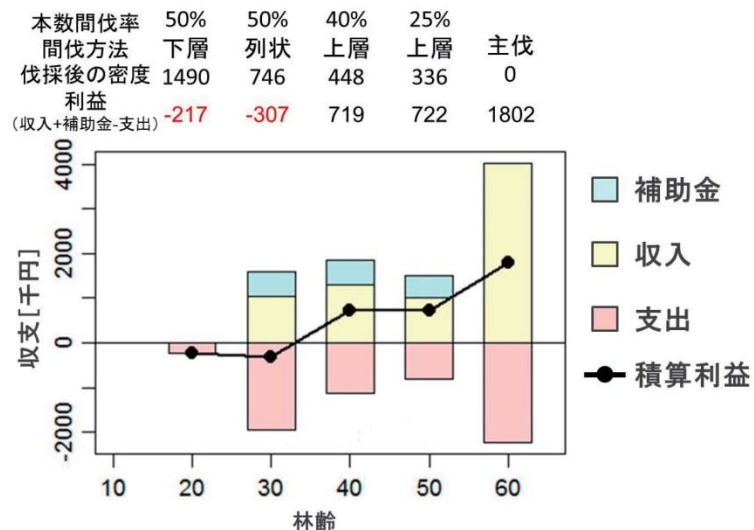


図1. 選択された最適施業戦略（再掲）

初期に下層や列状による強度な間伐を行いながら、収穫間伐によって間伐収益を得ることで、総利益をより多く上げられるという可能性がみえてきました。この結果は現在の市場価格（運賃、桟込料、販売手数料は除く）や補助金制度（この試算では高知県の補助単価を参考としており、伐採制限林等は対象としていない）に依存する収入によるものですが、大径材における価格の上昇など木材価格の変動や補助金の対象が変わった場合、伐期や間伐方法も変化するものと考えられます。シミュレーションでは一定割合で幹曲がりが発生するように設定しており、20、30年生での強度な間伐はそれらを取り除くのに効果的に働いています。このことは、間伐初期において比較的形質の良い個体を選抜するという本来の目的が、経済的な最適化においても重要な要素として支持されたことを意味します。30年生時の間伐利益はマイナスとなっており、切り捨て間伐にすることで集材コストを抑えることができるのですが、あえて収穫間伐を行うことで作業道を開設することが総利益の増大につながっています。作業道をこの時期から整備

することで、その後の積極的な収穫間伐を行う際の施業道開設コストを抑えることができるということを表しており（開設した作業道は、それ以降は維持管理費を支出）、今回の結果から施業と作業道との関係についても重要であることが明らかとなりました。一方で、40年生以降の間伐においては強度の上層間伐を行って利益を確保するという選択となりました。上層間伐が選択された要因としては、上層木が間伐されると下層木の成長が改善するという成長モデルの性質が影響していると考えられます。ただし、上層間伐によって残った下層木の成長経過を実際にデータから評価した事例は全国的に少なく、今後検証が必要です。また、今回の最適化ではいずれの間伐においても強度な間伐を行う結果となりましたが、強度間伐後の風雪害のリスクは評価できていません。

○森林づくりの観点から再検討

この結果をふまえて高知県内において、健全な森林づくりを基本としながら強度間伐を取り入れた素材生産業者の施業指針の聞き取りを行い、その施業指針を現実的な施業条件としてモデルに与えて最適化を行いました。その条件としては以下の通りです。

- ① 切り捨て間伐時の間伐方法は下層間伐のみ
- ② 収穫間伐は遅くとも40年生から行い、40年生時の収穫間伐前の立木密度は概ね1,000本/haとする
- ③ 50%以上の強度な間伐は全体のスケジュールで1回のみ
- ④ 列状間伐は、収穫間伐において1回だけ行うことが可能
- ⑤ 上層間伐は行わない（下層か列状間伐のみ）

以上の条件のもと、施業方法の探索を行った結果を図2に示します。間伐スケジュールとしては、図1と同様に20年生時にのみ切り捨て間伐が選ばれ、30年生時の収穫間伐では作業道の開設が行われるため利益が大きくマイナスとなりますが、40年、50年の収穫間伐では一定の利益を得た後、最適な伐期は60年となりました。図1と比較すると、総利益としては83万円程少なくなりましたが、この結果においても、30年生までに立木密度を下げて、30年生以降利益が得られるような間伐を行いながら主伐木を育成していく施業方法が最適であるということが明らかとなりました。

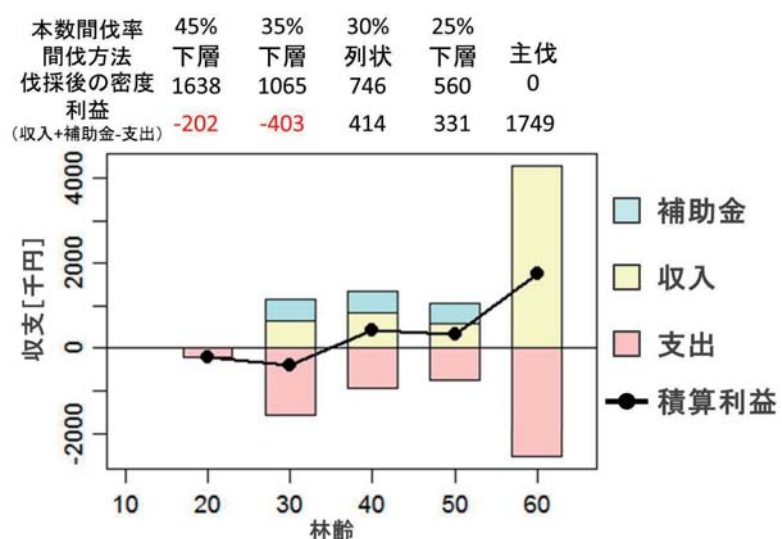


図2. 森林づくりの観点から考慮した施業条件による最適施業方法

引用文献

人工林を持続的に管理していくために― そのポイントは？

※本冊子で扱わなかった長伐期以外の選択枝については以下のパンフレットを参考にしてください。森林総合研究所ホームページよりダウンロードできます。

森林総合研究所（2010）広葉樹林化ハンドブック 2010. 森林総合研究所.

森林総合研究所（2012）広葉樹林化ハンドブック 2012. 森林総合研究所.

森林総合研究所（2013）低コスト再造林の実用化に向けた研究成果集. 森林総合研究所九州支所.

<要約>

高齢級化が進む人工林の現状

林野庁：森林資源の現況 <http://www.rinya.maff.go.jp/keikaku/genkyou/index1.html> 2015年12月14日閲覧.

林野庁（2014）平成26年版森林・林業白書.（社）全国林業改良普及協会.

<解説>

1. 高齢人工林の実態から学ぶ

高知県森林局（2006）民有林収穫表（スギ・ヒノキ）平成18年度. 高知県.

森林総合研究所（2014）人工林施業の長伐期化に対応した将来木選定の指針策定. 森林総合研究所交付金プロジェクト研究 成果 No.59. 森林総合研究所.

鈴木和次郎・池田伸・平野辰典・須崎智応・和佐英二・石神智生（2009）高齢級ヒノキ人工林の林分構造にみる間伐履歴の影響. 日本森林学会誌 91: 9-14.

全国森林組合連合会（2012）森林施業プランナーテキスト基礎編. 森林施業プランナー協会.

2. 樹木どうしの競争に配慮した選木と間伐

藤森隆郎（2013）将来木施業と径級管理―その方法と効果. 林業改良普及叢書 No.173. 全国林業改良普及協会.

Masaki T, Mori S, Kajimoto T, Hitsuma G, Sawata S, Mori M, Osumi K, Sakurai S, Seki T (2006) Long-term growth analyses of Japanese cedar trees in a plantation: neighborhood competition and persistence of initial growth deviations. Journal of Forest Research 11: 217-225.

宮本和樹・酒井敦・大谷達也・松岡雅如・山崎敏彦（2015）四国地方の高齢級スギ・ヒノキ人工林における個体間競争が植栽木の成長に及ぼす影響. 日本森林学会誌 97: 171-181.

3. 強度間伐および上層間伐が樹木に及ぼす影響

大矢信次郎・近藤道治（2013）過密人工林管理技術の開発. 長野県林業総合センター研究報告 27: 1-24.

川崎達郎（1995）上層間伐の得失—間伐後の成長を中心に—。平成6年度業務研究発表集，177-180，高知営林局。

深田英久・渡辺直史・宮田弘明・山崎敏彦（2009a）強度間伐が残存木の成長および材質等に与える影響。高知県立森林技術センター研究報告 34: 56-83。

深田英久・宮田弘明・山崎敏彦・渡辺直史（2009b）間伐施業と台風被害との関係に関する調査。高知県立森林技術センター研究報告 34: 84-97。

正木隆・櫃間岳・八木橋勉・野口麻穂子・柴田銃江・高田克彦（2013）スギ林における壮齢時の間伐は樹高の長期的な成長にどのように影響するか？ 日本森林学会誌 95: 227-233。

宮本和樹・奥田史郎・野口麻穂子・伊藤武治・佐藤重穂（2012）四国のヒノキ強度間伐林分における残存木の葉の水分特性。森林総合研究所研究報告 11: 223-231。

森林総合研究所（2010）間伐遅れの過密林分のための強度間伐施業のポイント。森林総合研究所四国支所。

渡邊仁志・茂木靖和・大洞智宏（2015）間伐が高齢級ヒノキ過密林の林分構造と成長に及ぼす影響。日本森林学会誌 97: 182-185。

4. 病虫害による材の劣化を低減するために

阿部恭久（2002）長伐期林と腐朽病害。桜井尚武編「長伐期林の実際」，81-90，林業科学技術振興所，東京。

小林富士夫（1986）スギ・ヒノキのせん孔性害虫。185pp. 全国林業改良普及協会，東京。

榎原寛（2002）長伐期林と昆虫。桜井尚武編「長伐期林の実際」，91-104，林業科学技術振興所，東京。

佐藤重穂（2008）スギ・ヒノキ人工林における間伐の実施に伴う虫害発生の危険性の評価。森林防疫 57: 87-91。

5. 人工林の表土を保全するために

中森由美子・瀧井忠人・三浦覚（2012）急斜面ヒノキ人工林における伐採方法の違いによる細土，土砂，リター移動量の変化。日本森林学会誌 94: 120-126。

酒井寿夫（2015）急傾斜地におけるヒノキ人工林の表土保全について考える。四国の森を知る 23: 2-3。

杉本純佑・鈴木保志・後藤純一（2011）列状間伐実施後のスギ人工林における土砂移動量と下層植生現存量。森林利用学会誌 26: 105-110。

塚本次郎（1989）林地斜面における表層物質の移動(I)。日本林学会誌 71: 469-480。

塚本次郎・梶原規弘・入田慎太郎（1998）ヒノキ人工林における表土流亡危険度の予測—土壤侵食強度の簡易評価における地表面観察の有効性の検討。日本林学会誌 80: 205-213。

渡辺靖崇・鈴木保志・後藤純一・酒井寿夫（2014）施業方法の違いによる人工林における土砂流出量の変化。森林利用学会誌 29(3): 1-8。

山瀬敬太郎・田中義則（2003）ヒノキ人工林における間伐木を利用した丸太筋工の効果。森林立地 45: 89-92。

用語の解説

高齢級人工林

林齢を5年毎に区切った単位を齢級とよびます（1齢級は1～5年生、2齢級は6～10年生）。一般に10齢級（46～50年生）以上の人工林を高齢級人工林とよんでいます。下に解説する壮齢林、高齢林と混同しがちですが、本冊子では、高齢級人工林をおおむね壮齢林と高齢林の両方を含むものとしてとりあつかっています。

過密林／過密人工林

間伐が十分に行われなかったために林内に高い立木密度で植栽木が残存し、混み合い度が高くなっている林分のこと。過密林の基準として、収量比数0.8以上、相対幹距比17以下、平均形状比80以上といった数値が示されています。各混み合い度の指標に関しては以下を参照してください。

壮齢林／壮齢人工林

若齢林と比較して樹高成長がゆるやかになるものの材積成長は盛んな時期の林分のこと。便宜的な区分で厳密に定義されている訳ではありません。本冊子では40年生以上80年生未満の林分を壮齢林としました。

高齢林／高齢人工林

壮齢林と比較して樹高成長に加え材積成長もゆるやかになる時期の林分のこと。壮齢林と同じく便宜的な区分です。本冊子では80年生以上の林分を高齢林としました。近年、高齢林の材積成長については、ゆるやかになりつつも衰えない事例が全国的に示されています。

収量比数（Ry）

ある林分における理論上限界の立木密度（最多密度）の材積（これを1とする）に対する、その林分の幹材積の比で表される数値のこと。林分密度管理図に基づく混み合い度の指標。一般に0.8以上は混みすぎで0.6以下は空きすぎとされています。

形状比

樹高（cm）／胸高直径（cm）で表されます。幹の太さ、細さの指標であるとともに、立木密度が高いと形状比が高くなるため、混み合い度の指標としても用いられます。林分内にある植栽木の平均形状比が80以上で混みすぎ、気象害に対しては70以下が望ましいといわれています。

中層間伐

優勢木の成長を阻害する中庸木（準優勢木）を主体に間伐し、早期に劣勢木と優勢木からなる同齢択伐林に誘導する間伐方法。間伐後の直径階分布は天然林でみられるようなL字型に近い分布となります。元東京大学教授の渡邊定元氏によって考案されました。

おわりに

この研究プロジェクトを通じて私達が得た成果は、長年林業に携わってきた方々にとってあまり目新しいものではないかもしれません。しかし、これまで経験によって培われてきた技術に対し科学的根拠を与え、より一般性の高い技術としていくことも研究者の重要な役割のひとつと考えています。森林づくりの観点から人工林管理のポイントをデータに基づいて示すことができたことは、このプロジェクトを通して前進した部分と考えています。本冊子をご覧いただいたとき、少しでも林業の現場に役に立つ知見が含まれていると感じていただければ幸いです。

私達は過去数回にわたり、研究成果発表会、意見交換会および現地検討会を開催し、主に四国地方の今後の人工林管理について林業に関係する様々な立場の方々と議論を重ねてきました。これらの議論を通じてあらためて感じたことは、(1) 経営面の厳しさや林業を続けていこうとする意欲の低下、シカによる食害等の問題で、森林所有者にとって主伐・再造林は研究者が考えている以上に困難な選択肢であること、(2) それゆえ当面は間伐主体の林業をせざるを得ないこと、でした。このような現状を率直に受け止めた上で研究者側が何を提示できるのかを考える必要があると考えます。長期的には主伐・再造林を現実味のあるものにするため、シカ個体数密度の管理、主伐・再造林における低コスト化といった取り組みが必要で、これらに関する研究が進められつつあります。同時に、「今ある人工林をどう管理していくのか？」という問いに答えるため、間伐を主体として森林づくりと収益の確保を両立させる研究をさらに進めていくことが今後の課題であると考えています。

林業現場に携わる多くの方々は、林業をとりまく状況が厳しいなかにあっても、程度の差こそあれ、人工林管理を考えていく上で森林づくりを大切にし、その実践に地道な工夫と努力を積み重ねておられました。今後とも、こうした現場の方々の努力に少しでも貢献できるようなデータや科学的知見を示していきたいと思います。

最後になりましたが本冊子の編集にあたり、以下の皆様には各地の人工林に関する情報提供、調査協力ならびに研究成果に対する有益なご助言を賜りました。心より感謝申し上げます。

- ・ 四国森林管理局ならびに同安芸森林管理署、四万十森林管理署の皆様
- ・ 高知県立森林技術センターの皆様
- ・ 高知大学農学部塚本次郎教授をはじめ魚梁瀬千本山試験地調査の関係者の皆様
- ・ 高知県香美森林組合の皆様
- ・ 土佐林業クラブの皆様
- ・ (株) 清水産業の皆様
- ・ (株) とされいほくの皆様

(宮本和樹)

執筆者

宮本和樹 （森林総合研究所 四国支所 森林生態系変動研究グループ）
佐藤重穂* （森林総合研究所 四国支所 流域森林保全研究グループ）
酒井寿夫 （森林総合研究所 四国支所 森林生態系変動研究グループ）
北原文章 （森林総合研究所 四国支所 流域森林保全研究グループ）
光田 靖 （宮崎大学農学部 森林緑地環境科学科）

* 現所属：森林総合研究所 北海道支所 森林生物研究グループ

森林総合研究所交付金プロジェクト研究
「豪雨・急傾斜地帯における低攪乱型人工林管理技術の開発」成果

も り これからの森林づくりのために 持続的な人工林管理のヒント

編集・発行 国立研究開発法人 森林総合研究所 四国支所
〒780-8077 高知県高知市朝倉西町 2-915

発 行 日 2016（平成28）年3月31日

お問い合わせ先 連絡調整室

電話：088-844-1121

E-mail: koho-ffpri-skk@gp.affrc.go.jp

* 本冊子掲載内容の無断転載を禁じます。