

## 四国の暖温帯域のスギ人工林皆伐跡地における林分構造と 種組成の変化

誌名	日本森林学会誌
ISSN	13498509
著者	野口, 麻穂子 奥田, 史郎
巻/号	94巻4号
掲載ページ	p. 192-195
発行年月	2012年7月

## 四国の暖温帯域のスギ人工林皆伐跡地における林分構造と種組成の変化 —皆伐5年後から11年後まで—

野口麻穂子<sup>\*1,3</sup>・奥田史郎<sup>2</sup>

高知県東部の暖温帯域に位置するスギ人工林皆伐跡地において、皆伐5年後から11年後までの林分構造と種組成の変化を明らかにした。調査地では、皆伐5年後の2003年の時点で胸高直径2 cm以上の広葉樹の幹密度が11,300本 ha<sup>-1</sup>に達し、調査期間中一貫して増加した。2009年には胸高断面積合計が29.8 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>に達した。個体の約65%が多幹個体であったことから、前生樹からの萌芽再生が更新に重要であったことが示唆された。期間中の林分構造と種組成の変化から、クサギなどの先駆性の低木種の大部分が枯死し、常緑広葉樹林の林冠構成種、特にシイ類が優占する傾向が強まったことが示された。これらの結果から、本研究の調査地では針葉樹人工林の皆伐後に常緑広葉樹林が成林し、その植生回復過程は、これまでに報告されている萌芽更新由来の常緑広葉樹二次林の遷移とおおむね同様の経過をたどっていると考えられた。

キーワード：針葉樹人工林、皆伐、常緑広葉樹林、更新、遷移

**Mahoko Noguchi,<sup>\*1,3</sup> Shiro Okuda<sup>2</sup> (2012) Changes in Stand Structure and Species Composition from 5 to 11 Years after Clear-cutting of a Sugi Plantation in the Warm-temperate Zone in Shikoku, Japan. J Jpn For Soc 94: 192-195** We investigated the changes in stand structure and species composition from 5 to 11 years after clear-cutting of a Sugi (*Cryptomeria japonica*) plantation in the warm-temperate zone of eastern Kochi, Japan. Stem density of broad-leaved tree species in the study stand was 11,300 stems ha<sup>-1</sup> in 2003, 5 years after clear-cutting, and increased during the study period. The basal area of the study stand reached 29.8 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> in 2009. Approximately 65% of tree individuals in the study stands were multi-stemmed, suggesting the importance of sprouting in the regeneration process. The observed changes in stand structure and species composition during the study period showed that pioneer shrub species had been excluded from the stand, and that evergreen broad-leaved trees, especially *Castanopsis* species, had increased their dominance. These results suggest that the study stand is under a succession process comparable to that previously reported in evergreen broad-leaved secondary forests in the warm temperate zone in Japan.

**Key words:** Conifer plantation, clear-cutting, evergreen broad-leaved forest, regeneration, succession

### I. はじめに

わが国においては、1950年代を中心に行われた拡大造林の結果、針葉樹人工林（以下、人工林とする）が森林面積の約40%を占めるに至っている。人工林の拡大に伴う広葉樹林の消失や分断化は生物多様性に負の影響を及ぼすことが知られており、広葉樹林に依存する生物個体群の維持・回復のために、広葉樹林の面積や連続性を回復することが有効との指摘がある（山浦2007）。2011年に策定された森林・林業基本計画には、森林の多面的機能の発揮の観点から、人工林への広葉樹の導入などを含めた多様な森林整備の推進が掲げられている（林野庁2011）。しかし、いったん人工林として育成された林分への広葉樹の導入技術は確立されておらず、関連する知見の蓄積も十分ではない。

一方で、近年、九州を中心とする日本各地において、おもに経済的理由に起因する再造林放棄地の問題が多く発生している。これに伴い、人工林皆伐跡地の植生回復に関する研究が大きく進展した（Yamagawa *et al.* 2010；長島

ら2011）。その中で、人工林皆伐跡地に林冠構成種となる広葉樹が比較的高い密度で出現する事例が報告され、人工林の皆伐を契機とした広葉樹の更新の可能性が示された（Sakai *et al.* 2006；Yamagawa *et al.* 2008）。しかし、広葉樹の天然更新においては、稚樹段階で更新目的の樹種が優占していたにもかかわらず、成林に至らない場合があることが知られている（杉田ら2006）。そのため、人工林皆伐跡地における広葉樹の天然更新の可能性を的確に評価するためには、出現した広葉樹の動態の継続的な観測を通して、成林に至るまでの過程を明らかにすることが必要である。

そこで、本研究では、高知県東部の暖温帯域に位置するスギ人工林皆伐跡地において、皆伐5年後から11年後までの林分構造と種組成の変化を明らかにし、更新と遷移の過程について考察した。

### II. 方 法

高知県室戸市に位置する桑ノ木谷山国有林内に調査地を設定した（北緯33°28'00"，東経134°11'37"付近）。調

\* 連絡先著者 (Corresponding author) E-mail: mahoko@fpri.affrc.go.jp

<sup>1</sup> 独立行政法人森林総合研究所四国支所 〒780-8077 高知市朝倉西町2-915 (Shikoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, 2-915 Asakuranishimachi, Kochi 780-8077, Japan)

<sup>2</sup> 独立行政法人森林総合研究所関西支所 〒612-0855 京都市伏見区桃山町永井久太郎68 (Kansai Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, 68 Nagaiyutaro, Momoyama, Fushimi, Kyoto 612-0855, Japan)

<sup>3</sup> 現所属：独立行政法人森林総合研究所東北支所 〒020-0123 盛岡市下厨川字鍋屋敷92-25 (Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, 92-25 Nabeyashiki, Shimokuriyagawa, Morioka 020-0123, Japan)

(2012年2月29日受付；2012年6月11日受理)

査地の標高は210~230 m, メッシュ気候値2,000 (気象庁2002) から求めた年平均気温は14.8°C, 年間降水量は3,556 mmである。調査地一帯では, 1998年に2.61 haの範囲でスギ人工林の皆伐が行われた。皆伐を実施した月の記録は残っていないが, この地域の国有林における事業の一般的な実施時期から推測して, 生育期間終了後の秋または冬と考えられる。四国森林管理局の記録によると, 伐採時の林齢は63年生, スギの材積は290 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>であった (四国森林管理局2011)。皆伐後は天然更新とされ, 植栽は行われなかった。皆伐から5年後の2003年の生育期間終了後 (2003年11月) に, 顕著な尾根や沢を避けた中腹の斜面に, 40~140 mの距離をとって, 10 m×10 mの調査区を3個設置した。調査区内の胸高直径2 cm以上の全ての樹木の幹に番号をつけて識別し, 樹種および胸高直径, 樹高を記録した。複数の幹が株立ちになっている場合は, それらが同じ個体に属する旨を記録した。樹種の記録に際し, スタジイとツブラジイについては両種の間期的な特徴を持つ個体が出現し, 判別が困難であったため, 本論文ではまとめてシイ類として扱った。2006年および2009年の生育期間終了後 (2007年1月および2010年1月) に, 同様の方法で再測を実施した。なお, 三つの調査区のデータはプールして扱った。

### III. 結 果

本研究の調査地における2003年時点の胸高直径2 cm以上の樹木の幹密度は11,300本 ha<sup>-1</sup>, 個体密度は3,967本 ha<sup>-1</sup>であった (表-1)。2003年から2006年, 2009年に至る調査期間中, 幹密度および個体密度のいずれも増加する傾向が続いた。2003年時点で全個体のうち多幹個体が64.7%を占め, 個体あたりの平均幹数は2.8本であった。多幹個体の割合および個体あたりの平均幹数は, 2009年にはそれぞれ62.0%, 2.7本となり, 2003年に比べてわず

かながら低い値を示した。平均樹高および平均胸高直径は調査期間中一貫して増加し, 2009年にはそれぞれ7.1 m, 4.9 cmに達した。また, 胸高断面積合計は, 2003年の9.0 m<sup>2</sup>から2009年には29.8 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>と約3倍に増加した。

2003年の時点で, 胸高直径2 cm以上の樹木として13種が出現し, うち10種を常緑性の林冠構成種および亜高木種が占めた (表-2)。種数は2006年に15種に達し, 2009年も同じ値で推移したが, 出現種には若干の入れ替わりがみられた。胸高断面積合計においては, 2003年時点でシイ類が出現種中もっとも高い割合を示した。さらにシイ類は, 測定期間中他種に比べて大幅な胸高断面積の増加を示し, 2009年には全体の約50%を占めた。幹および個体の密度は2003年時点においてシロバイがもっとも高く, シイ類, アラカシの順であり, 調査期間中, これら上位3種の順位に変化はみられなかった。一方, 2003年時点で出現種中6番目に幹密度が高かったクサギは, 調査期間中に急激に減少し, 2009年までにすべて枯死した。また, ヒサカキは2006年から新規加入が始まり, 2009年には出現種中4番目に高い個体密度を記録した。

優占する3種 (シイ類, シロバイ, アラカシ) および, これら3種以外の種群 (その他の樹種) の樹高階分布を図-1に示す。2003年時点で, シイ類は5~6 mの樹高階にピークを持っていたのに対し, アラカシのピークは3~4 m,

表-1. 各調査年における林分の概要

	2003年	2006年	2009年
幹密度 (本 ha <sup>-1</sup> )	11300	12100	12733
個体密度 (本 ha <sup>-1</sup> )	3967	4367	4733
多幹個体の割合 (%)	64.7	61.8	62.0
平均の個体あたり幹数 (本)	2.8 (2.1)	2.8 (2.1)	2.7 (2.2)
平均樹高 (m)	4.5 (1.0)	5.8 (1.5)	7.1 (1.9)
平均胸高直径 (cm)	3.0 (1.0)	4.2 (1.7)	4.9 (2.4)
胸高断面積合計 (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	9.0	19.8	29.8

括弧内の数値は標準偏差。

表-2. 出現種の幹密度, 個体密度および胸高断面積合計の変化

和名	学名	樹種区分 <sup>a</sup>	幹密度 (本 ha <sup>-1</sup> )			個体密度 (本 ha <sup>-1</sup> )			胸高断面積合計 (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )		
			2003年	2006年	2009年	2003年	2006年	2009年	2003年	2006年	2009年
シイ類 <sup>b</sup>	<i>Castanopsis</i> spp.	CA	2733	2867	2767	833	867	867	3.35	8.80	14.66
シロバイ	<i>Symplocos lancifolia</i>	SUB	3033	3333	3467	967	1000	1033	1.88	3.75	5.20
アラカシ	<i>Quercus glauca</i>	CA	1967	2100	2533	633	667	800	1.04	2.31	3.35
トキワガキ	<i>Diospyros morrisiana</i>	SUB	1300	1333	1333	467	467	467	1.23	1.84	2.48
ヤマビワ	<i>Meliosma rigida</i>	SUB	433	633	700	133	233	233	0.45	1.06	1.60
クスノキ	<i>Cinnamomum camphora</i>	CA	633	600	367	200	200	200	0.49	1.18	1.34
エゴノキ	<i>Styrax japonica</i>	SUB (D)	367	333	333	167	167	167	0.18	0.31	0.49
ヒサカキ	<i>Eurya japonica</i>	SUB	0	433	733	0	400	633	0	0.21	0.34
タブノキ	<i>Machilus thunbergii</i>	CA	133	133	133	67	67	67	0.05	0.10	0.12
ツクバネガシ	<i>Quercus sessilifolia</i>	CA	33	67	167	33	67	100	0.01	0.05	0.12
ウラジロガシ	<i>Quercus salicina</i>	CA	33	33	67	33	33	33	0.01	0.04	0.06
バリバリノキ	<i>Litsea acuminata</i>	SUB	33	33	33	33	33	33	0.01	0.02	0.02
ガマズミ	<i>Viburnum dilatatum</i>	SH (D)	0	33	33	0	33	33	0	0.02	0.02
ヤブツバキ	<i>Camellia japonica</i>	SUB	0	33	33	0	33	33	0	0.02	0.01
クロバイ	<i>Symplocos prunifolia</i>	SUB	0	0	33	0	0	33	0	0	0.01
クサギ	<i>Clerodendrum trichotomum</i>	SH (D)	567	133	0	367	100	0	0.29	0.06	0
イヌザンショウ	<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	SH (D)	33	0	0	33	0	0	0.01	0	0

<sup>a</sup> 樹種区分: CA, 林冠構成種; SUB, 亜高木種; SH, 低木種。(D)を付した種は落葉樹。<sup>b</sup> シイ類: スタジイ (*Castanopsis sieboldii*) およびツブラジイ (*C. cuspidata*)。

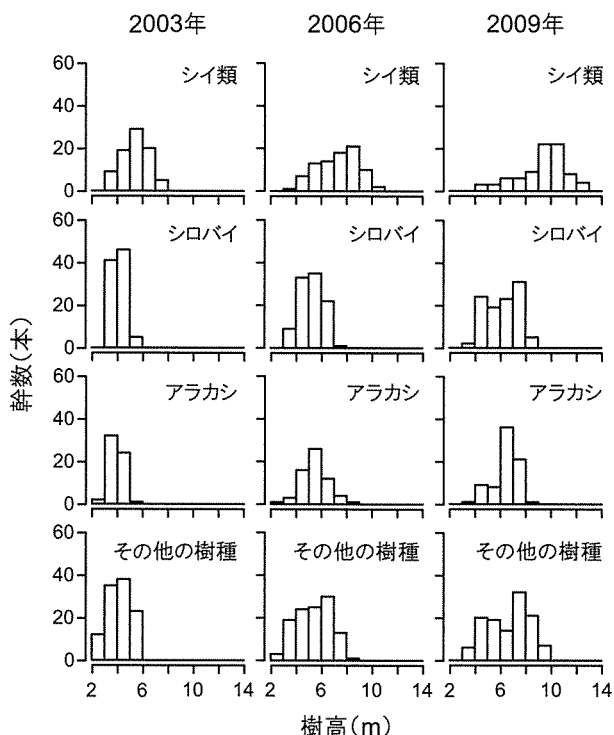


図-1. 各調査年におけるシイ類, シロバイ, アラカシ, その他の樹種の樹高階分布

シロバイおよびその他の樹種では4~5 mであった。シイ類の樹高階分布のピークは、2006年から2009年にかけてそれぞれ8~9 m, 9~11 mの樹高階に移動し、他の樹種・種群とのずれはさらに顕著になった。2006年までの樹高階分布は、いずれの樹種・種群においても一山型であったが、2009年にはシロバイが4~5 mと7~8 mの二つのピークを示し、優占する3種以外の種群（その他の樹種）も二山型を示すようになった。

#### IV. 考 察

本研究の調査地においては、スギ人工林の皆伐から5年後の2003年の時点で、広葉樹の幹密度が11,000本 $\text{ha}^{-1}$ を超えており、調査期間中、一貫して増加した。2009年には胸高断面積合計が30 $\text{m}^2\text{ha}^{-1}$ 近くに達し、その約50%を林冠構成種のシイ類が占めた。この胸高断面積合計の値は、シイ類が優占する若齢常緑広葉樹二次林においてこれまでに報告された値を上回るものであった（Tadaki 1965；菅ら 1965；只木 1968）。また、平均樹高や平均胸高直径については、測定対象木の下限サイズによって値が変動しやすいため単純に比較することはできないが、胸高断面積合計と同様に、これまでの報告を上回る値が得られた。調査地においては、人工林の皆伐11年後の時点で常緑広葉樹林が成林しており、その成長は良好で、常緑広葉樹の伐採後に萌芽や種子から天然更新した二次林の成長に劣らないことが明らかになった。

調査地において多幹個体の占める割合は、単幹個体に比

べて高く、2003年の時点で約65%に上った。一般に、萌芽は1個体から複数発生するため（伊藤 1996）、萌芽更新した樹木は多幹になりやすいことから、本研究の調査地の更新木には、人工林の皆伐にともなって伐採された前生樹から萌芽更新したものが多いと考えられた。調査地の優占種のうち、林冠構成種のシイ類とアラカシは、高い萌芽能力を持ち、人工林内に生育していた前生樹が皆伐後に活発に萌芽することが報告されている（Yamagawa *et al.* 2008）。これらの樹種は、四国の太平洋側の人工林皆伐跡地では、暖温帯域、特に標高600 m以下の地域において高い密度を示すことが知られている（Sakai *et al.* 2006）。本研究の調査地は標高220 m付近に位置しており、シイ・カシ類が更新しやすい気候的条件を満たしていると考えられる。また、暖温帯域の人工林においては、人工林化以前の土地利用が二次林である場合や、人工林の林齢が比較的高い場合に、下層の天然林構成種の密度（齊藤ら 2006）や種多様度（Ito *et al.* 2003, 2004）が高くなり、皆伐後に天然林構成種の優占する植生が回復しやすい（Yamagawa *et al.* 2006）ことが知られている。過去の地形図（1933年測図）の土地被覆の情報および、試験地周辺に残る石垣などの人為的利用の痕跡から、本研究の調査地は、スギ人工林として利用される前は広葉樹二次林であったとみられる。また、調査地のスギ人工林の伐採時の林齢は、63年生に達していた。さらに、調査地においては伐採時のスギの材積が290 $\text{m}^3\text{ha}^{-1}$ にとどまり（四国森林管理局 2011）、林分収穫表における同じ地位級の65年生スギ林の材積（428 $\text{m}^3\text{ha}^{-1}$ ；林野庁 1953）と比較してかなり小さい値を示したことから、スギ林の成林が十分ではなく、他の樹種が混交していたか、もしくは林冠が閉鎖せず下層に稚樹が生育しやすい状態となっていた可能性がある。以上のことから、本研究の調査地においては、スギ人工林に常緑広葉樹が侵入しやすい条件が整っており、皆伐前に豊富な前生樹が成立していたことが、常緑広葉樹の優占と短期間での成林をもたらした大きな要因と考えられる。

一方、考慮すべき更新阻害要因として、ニホンジカによる食害があげられる。近年、日本各地で、ニホンジカによる採食が皆伐跡地の植生回復や人工林下層における広葉樹の定着・生存を妨げる事例が報告されている（Sakai *et al.* 2006；島田・野々田 2009；長島ら 2011）。高知県内のニホンジカの分布状況や生息密度の記録（高知県 2005, 2009）から、調査地周辺は1998年のスギ人工林伐採の以前からニホンジカの生息域に入っていたが、Sakai *et al.* (2006)によって皆伐跡地の樹木の更新阻害が報告された地域（高知県四万十市西部、標高約700~900 m）に比べて、ニホンジカの生息密度は低かったと推測される。これに加え、萌芽は一般に実生と比較して初期成長が速いため（伊藤 1996；田内 1990a）、頂端部を食害されうる期間が短いことが、成林に至った要因の一つとして考えられる。さらに、本研究の調査地において、優占種のシイ類やアラカシがニホンジカによる剥皮を比較的受けにくい樹種であること

も(野宮ら 2007; 野口・酒井 2011), 前生樹や更新木に対するニホンジカの影響の低減につながった可能性がある。実際, 著者らの観察によると, 調査期間中に調査地では下層植生にニホンジカによる食痕がみられたが, 更新木の剥皮被害はタブノキなど一部の樹種を除いて認められなかった。ニホンジカの生息域における更新の可能性について議論するには, ニホンジカの生息密度や更新木の種組成によって, 食害の発生パターンがどのように変化するかを示すデータを, さらに蓄積していく必要がある。

これまでの研究から, 萌芽更新に由来する常緑広葉樹二次林では, 皆伐後 10~15 年程度までの遷移初期段階に, 常緑広葉樹の萌芽株が先駆性樹種を駆逐しながら優占度を高めると同時に, 常緑広葉樹の実生個体が加入することによって, 発達した階層構造と高い種多様性がもたらされることが知られている(井藤ら 2008)。本研究の調査地で調査期間中にみられた種組成と林分構造の変化は, この傾向と一致していた。調査地では, 皆伐 5 年後から 11 年後の間にクサギなどの先駆性の落葉低木の大部分が枯死し, 常緑広葉樹, 特にシイ類が優占する傾向が強まった。一方で, 期間中, 常緑広葉樹には消失した樹種はみられなかった。種数は若干増加し, 新規加入種のうちヒサカキは, 幹数・個体数とも大幅な増加を示した。さらに, 樹高階分布の変化から, 調査期間中にシイ類が上層を占める傾向がより明瞭になるとともに, シイ類, アラカシを除く樹種群において, 樹高階分布が一山型から二山型に変化し, サイズ構造が複雑化する方向に推移したことが示された。これらの結果から, 本研究の調査地における植生回復過程は, これまでに報告されている萌芽更新由来の常緑広葉樹二次林の遷移とおおむね同様の経過をたどっていると考えられた。常緑広葉樹二次林においては, 伐採後 20~50 年生の遷移中期とされる時期に, 実生の成長が困難なほどに林内の光環境が悪化し(田内 1990b), 幹の競争の激化によって階層構造の単純化と種多様性の低下が起こるとされており(井藤ら 2008), 調査地の林分においても, 将来, 種組成や構造の単純化が進む可能性がある。多様な生態系サービスの維持を目的とした林分管理の指針を示す上では, 今後, さらに遷移が進んだ場合の林分構造や種組成の変化を明らかにすることが必要である。

本研究は, 四国森林管理局森林技術センターの技術開発試験地を同センターと共同で利用して実施した。四国森林管理局森林技術センター職員の方々には, 試験地の設定と野外調査にあたり多大なご協力をいただいた。また, 森林総合研究所四国支所の宮本和樹博士には野外調査へのご協力を, 酒井敦博士には草稿への有益なご助言をいただいた。ここに厚く御礼申し上げる。なお, 本研究の一部は, 農林水産省新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業(No. 1904)「広葉樹林化のための更新予測および誘導技術の開発」により行われた。

## 引用文献

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. 日林誌 90: 46-54  
 伊藤 哲(1996) 樹木の萌芽の生理的機能の解明による適正な森林動態制御に関する研究. 宮崎大学農学部演習林報告 13: 1-76  
 Ito S, Nakagawa M, Buckley GP, Nogami K (2003) Species richness in sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantations in southeastern Kyushu, Japan: the effects of stand type and age on understory trees and shrubs. J For Res 8: 49-57  
 Ito S, Nakayama R, Buckley GP (2004) Effects of previous land-use on plant species diversity in semi-natural and plantation forests in a warm-temperate region in southeastern Kyushu, Japan. For Ecol Manage 196: 213-225  
 菅 誠・斉藤秀樹・四手井綱英(1965) 常緑広葉樹林の物質生産力について. 京都大学農学部演習林報告 37: 55-75  
 気象庁(2002) メッシュ気候値 2000 (CD-ROM). 気象業務支援センター  
 高知県(2005) 高知県特定鳥獣(ニホンジカ)保護管理計画. 高知県  
 高知県(2009) 高知県特定鳥獣(シカ)保護管理計画. 高知県  
 長島啓子・大本健司・吉田茂二郎(2011) 九州地方における再造林放棄地の植生回復パターンとその要因: 再造林放棄地の管理にむけて. 日林誌 93: 294-302  
 野口麻穂子・酒井 武(2011) 市ノ又試験地におけるニホンジカによる剥皮の発生状況. 森林総合研究所四国支所年報 52: 27-29  
 野宮治人・矢部恒晶・前田勇平(2007) 大面積皆伐跡地の前生稚樹に対するニホンジカによる剥皮の特徴. 九森研 60: 67-69  
 林野庁(1953) 土佐地方すぎ林林分収穫表調製説明書. 収穫表調製業務研究資料 4: 1-29  
 林野庁(2011) 森林・林業基本計画. 林野庁  
 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地密度の予測. 日林誌 88: 482-488  
 Sakai A, Hirayama T, Oshioka S, Hirata Y (2006) Effects of elevation and postharvest disturbance on the composition of vegetation established after the clear-cut harvest of conifer plantations in southern Shikoku, Japan. J For Res 11: 253-265  
 四国森林管理局(2011) 平成 22 年度技術開発完了報告書. 四国森林管理局  
 高田博匡・野々田稔郎(2009) 針葉樹人工林における強度間伐後の広葉樹侵入に及ぼすシカ採食の影響. 日林誌 91: 46-50  
 杉田久志・金指達郎・正木 隆(2006) プナ皆伐母樹保残法施業試験地における 33 年後, 54 年後の更新状況—東北地方の落葉低木型林床プナ林における事例—. 日林誌 88: 456-464  
 Tadaki Y (1965) Studies on production structure of forests (VII): the primary production of a young stand of *Castanopsis cuspidata*. 日生態誌 15: 142-147  
 只木良也(1968) 森林の生産構造に関する研究 (XIV): コジイ幼齢林の一次生産についての第 3 回報告(英文). 日林誌 50: 60-65  
 田内裕之(1990a) コジイぼう芽林の更新過程(II) —ぼう芽個体群の動態—. 日林論 101: 473-474  
 田内裕之(1990b) コジイぼう芽林内の光環境とそこに植栽したアラカシ, イチイガシ, コジイ稚樹の成長変化—耐陰性からみた遷移系列への位置づけ—. 日林誌 72: 435-440  
 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 (2008) Early establishment of broadleaved trees after logging of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* plantations with different understory treatments. J For Res 13: 372-379  
 Yamagawa H, Ito S, Nakao T (2010) Restoration of semi-natural forest after clearcutting of conifer plantations in Japan. Landscape Ecol Eng 6: 109-117  
 山浦悠一(2007) 広葉樹林の分断化が鳥類に及ぼす影響の緩和: 人工林マトリックス管理の提案. 日林誌 89: 416-430