

研究資料 (Research record)

四国のスギ・ヒノキ人工林での保持林業の適用

瀬戸 美文^{1)*}、富田 幹次²⁾、山浦 悠一³⁾、佐藤 重穂⁴⁾、米田 令仁³⁾、
山中 聡⁵⁾、比嘉 基紀⁶⁾、市栄 智明²⁾、鈴木 保志²⁾

要旨

本研究では、スギ・ヒノキ人工林で保持林業を適用する場合にどの広葉樹種が保持木となり得るか、また約10本/haの維持が可能かを検討した。できるだけ大きく育った健全な高木性広葉樹の生立木を10本/haで単木保持することを選木基準とし、四国の主伐後の2林地で保持木を選木した。また林業事業体に保持林施業の感想と印象を聞き取った。その結果、保持木の樹種は暖温帯自然林の自生種であった。片方の林地では稚樹や損傷個体、萌芽更新個体も選木され、保持木を一定サイズ以上の広葉樹に限定すると少量の本数でも維持が難しい林地があることが示された。林業事業体は保持林施業に肯定的であったが、作業班間での施業内容の情報伝達の難しさが指摘された。

キーワード：広葉樹保持、森林管理、生物多様性保全、多面的機能、単木保持、非皆伐、暖温帯

はじめに

日本の国土の66%は森林で、そのうち40%を人工林が占める (林野庁 2024)。木材生産を主目的として造成された人工林であっても、木材生産機能以外に生物への生息場所の提供・水源の涵養・土砂流出の防止・地球温暖化の抑制などの公益的機能を有する (林野庁 2024)。人工林を管理するうえで、これら公益的機能の持続的な享受・増進を可能とする持続可能な森林経営の検討と実施が求められている (林野庁 2021)。特に近年は伐期に達した人工林が各地で主伐・再造林され、これに伴う森林の公益的機能の低下が懸念されるようになり (The National Board of Forestry Sweden 1992, Keenan and Kimmins 1993, 長池 2002, Saito et al. 2017)、公益的機能に配慮した人工林施業や林業の社会的重要性は増しているといえよう。

国内では、公益的機能に配慮した人工林の施業方法として、長伐期施業や複層林施業、広葉樹と針葉樹の混植、帯状・小面積皆伐、(強度) 間伐による混交林への誘導などが検討・実施されてきた (五十嵐ら 2014, 伊藤 2018, 佐藤 2021, 清和 2022など)。近年それらに加え注目されている施業法として「保持林業 (retention forestry)」がある。保持林業は、伐採地及びその後の森林での生物多様性保全を目的に、主伐前の林内に存在する、生物多様性の保全や生態系の回復に寄与しうる生立木や立ち枯れ木 (保持木) を伐採せずに残し、それらを長期間維持する施業である (Gustafsson et al. 2012)。非皆伐施業の1つで

あるものの、従来の非皆伐施業の多くは収益の最大化を目的に一部の樹木を残す一方で、保持林業では生物多様性の保全に有効な樹木を残すという点で従来の非皆伐施業とは異なる (Franklin et al. 1997)。

保持林業は北米やヨーロッパ、オーストラリアと南米の一部では既に広く取り入れられており (Gustafsson et al. 2012)、生物多様性保全への有効性が検証されている (尾崎ら 2018)。保持林業による生物多様性保全の有効性や、その有効性が最大限に発揮される施業法 (どのくらいの本数の保持木をどのような空間配置で残すのか) は生物種によって異なるが (Gustafsson et al. 2012, Mori and Kitagawa 2014, Franklin et al. 2018)、主に森林性生物の種多様性は皆伐地や従来の非皆伐地よりも保持林業の施業地で高くなることが報告されている (Gustafsson et al. 2012, Fedrowitz et al. 2014, Mori and Kitagawa 2014)。一方で保持林業のために実施される施業 (以降、保持林施業) では、林地に保持木が残されることにより、木材生産に充てる面積が縮小することに加え保持木周囲の樹木の成長が抑制されるため、林業収益は一般に保持する樹木が多いほど低下する (柿澤ら 2018)。スウェーデンやアメリカ合衆国では、保持林業が森林管理協議会 (Forest Stewardship Council: FSC) などの森林認証制度の認証基準に含まれており、生物多様性保全と林業収益の獲得の両立を志向する保持林業を推進する仕組みがすでに確立、あるいは確立されつつある (柿澤ら 2018)。

原稿受付：2024年5月17日 原稿受理：2024年10月9日

1) 高知大学大学院 総合人間自然科学研究科

2) 高知大学 農林海洋科学部

3) 森林総合研究所 四国支所

4) 森林総合研究所 企画部

5) 森林総合研究所 北海道支所

6) 高知大学 理工学部

* 高知大学大学院 総合人間自然科学研究科 〒780-8520 高知県高知市曙町2丁目5-1 高知大学 理工学部 植物生態学研究室、

E-mail: eriajpn323@gmail.com

日本の人工林における保持林業の生物多様性保全への有効性や経済的損失の検証は、北海道のトドマツ人工林で行われている (Retention Experiment for plantation FoREstry in Sorachi, Hokkaido: REFRESH: 尾崎ら 2018, Yamaura et al. 2018, Ozaki et al. 2024)。針葉樹が植栽される日本の人工林では、樹種の多様性を高め動物に食物資源を提供する保持木として高木性広葉樹が有望であると考えられるため (Yamaura et al. 2018)、この実験ではトドマツ人工林の主伐時に混生する広葉樹が伐採せずに残されている。森林性コウモリ (Teshima et al. 2022) や鳥類 (Yamaura et al. 2023)、昆虫 (Yamanaka et al. 2021, Ueda et al. 2022)、菌根菌 (Obase et al. 2022)、草本植物 (Akashi 2023) の種多様性や個体数が主伐によって受ける負の影響は、保持林施業によって緩和されることが報告されている。また、保持林施業によって主伐 (伐倒や木寄せ) にかかる作業時間は増加するものの (Tsushima et al. 2023)、保持林業によって増加する生物多様性の社会的便益によって相殺できる可能性も報告されている (Yamaura et al. 2016)。したがって保持林業は、日本のトドマツ人工林においても生物多様性保全に一定の効果があり、現場で広く適用可能な施業方法になりうることを示唆されている。

一方、日本の人工林の約69%を占めるスギ・ヒノキ人工林 (林野庁 2024) では、保持林業の生物多様性保全への有効性や経済的損失の評価は未だ行われていない。スギ・ヒノキ人工林はトドマツ人工林とは造成される地域が異なり、上木としての性質 (木平2003) や形成される生物相 (Kawamura et al. 2021)、そして林業収益 (長谷川・久田 1980, 滝谷 2014) も異なるため、保持林業の生物多様性保全への有効性や経済的損失も異なると予想される。またスギ・ヒノキ人工林では、トドマツやカラマツの人工林と比較して林内に混生する広葉樹が少ないことが知られている (Yamaura et al. 2019)。林内に混生する広葉樹は植栽木の伐採の支障となる場合や安全性に配慮するうえで伐採されることも併せて考えると、主伐後の林地に残置できる高木性広葉樹は主伐前に生育している本数より少ないだろう。よってスギ・ヒノキ人工林ではそもそも保持できる広葉樹が主伐前の林地に存在しない、あるいは十分に確保できない可能性もある。スギ・ヒノキ人工林における保持林業の生物多様性保全への有効性や経済的損失を検討するうえで、まずは主伐後の林地でどのような広葉樹種がどのくらいの本数生残しうるのかを明らかにする必要がある。

そこで本研究では、暖温帯に位置する主伐後のスギ・ヒノキ人工林2林地において保持木の選木と毎木調査を行い、(1) どのような広葉樹種が保持木となりうるのか、高木性樹種は生残しているのか、(2) haあたり約10本 (少数であり保持林施業による経済的損失の増加も小さく抑えられるとされる本数 (Tsushima et al. 2023)) の広葉樹を保持することは可能かを検討した。また、実際に保持林施業を行った林業事業体に、施業の感想や保持林業の印

象について聞き取り調査を行った。これらを踏まえ本稿では、保持木の選木と聞き取り調査の結果から見えてきた、スギ・ヒノキ人工林において保持林業を実施するうえでの課題も報告する。

方法

調査地

保持林業を実施するスギ・ヒノキ人工林の選定は2021年度の末から行った。著者メンバーである森林総合研究所の佐藤と山浦は、高知県の国有林管理を担う四国森林管理局と水源林の管理を担う森林整備センターに、皆伐予定地で保持林業を実施できるか相談した。その結果、主伐後に広葉樹が残っている林地として高知県高岡郡四万十町の長野山国有林内の林地、これから主伐を行なう林地として高知県四万十市の西土佐水源林内の林地が各機関より提案された。

長野山国有林 (高知県高岡郡四万十町昭和地区、四万十森林管理署管内、2027林班い3小班) 内の林地は、1952年に植栽された69年生のスギ・ヒノキ人工林の主伐跡地であった (5.39 ha、33°11'07"N、132°52'39"E、標高370–617 m、Fig. 1)。最寄りの高知地方気象台江川崎観測所の平年値 (1991–2020年) は、年平均気温が15.7°C (最高気温26.7°C (8月)、最低気温4.9°C (1月))、年平均降水量が2423.7 mm (最多降水量361.6 mm (9月)、最小降水量71.2 mm (1月)) である (気象庁 2024)。周辺の植生はシイ・カシ二次林やコナラ群落、スギ・ヒノキ人工林が多く、アカマツ群落なども存在する (環境省自然保護局生物多様性センター 2024)。間伐の履歴は不明であるが、主伐は2020年に行われた。本林地では保持林業を目的とした主伐は行われていないものの、主伐後・地持ち前 (2022年3月) の林地にはある程度大きく育った広葉樹 (すなわち保持木として機能すると考えられる広葉樹) が数多く生育していた。

西土佐水源林での施業は、1967–1968年に植栽された57年生のスギ・ヒノキ人工林 (高知県四万十市西土佐地区、5.67 ha、33°11'52"N、132°46'31"E、標高230–540 m、Fig. 2) で行った。最寄りの気象台は長野山国有林と同一の江川崎観測所である。周辺の植生はスギ・ヒノキ人工林が多く、アカマツ群落やシイ・カシ二次林、コナラ群落なども存在する (環境省自然保護局生物多様性センター 2024)。本林地は2 ha以内の複数の皆伐区で伐採する更新伐の現場である。間伐の履歴について正確な記録は残っていないが、1991–2014年にかけて2–3回程度実施されたと考えられる。主伐前のヒノキの樹高は約14 m、スギは約26 mであった。

保持木の選定方針 (選木基準と本数)

保持木の選木基準は、樹種は可能な限り、将来的に林冠構成種となりうる高木性広葉樹種で、できるだけ大きく育った健全で通直な生立木を選ぶこととした。保持木の本数 (以下、目標選木本数という) はスウェーデンの保

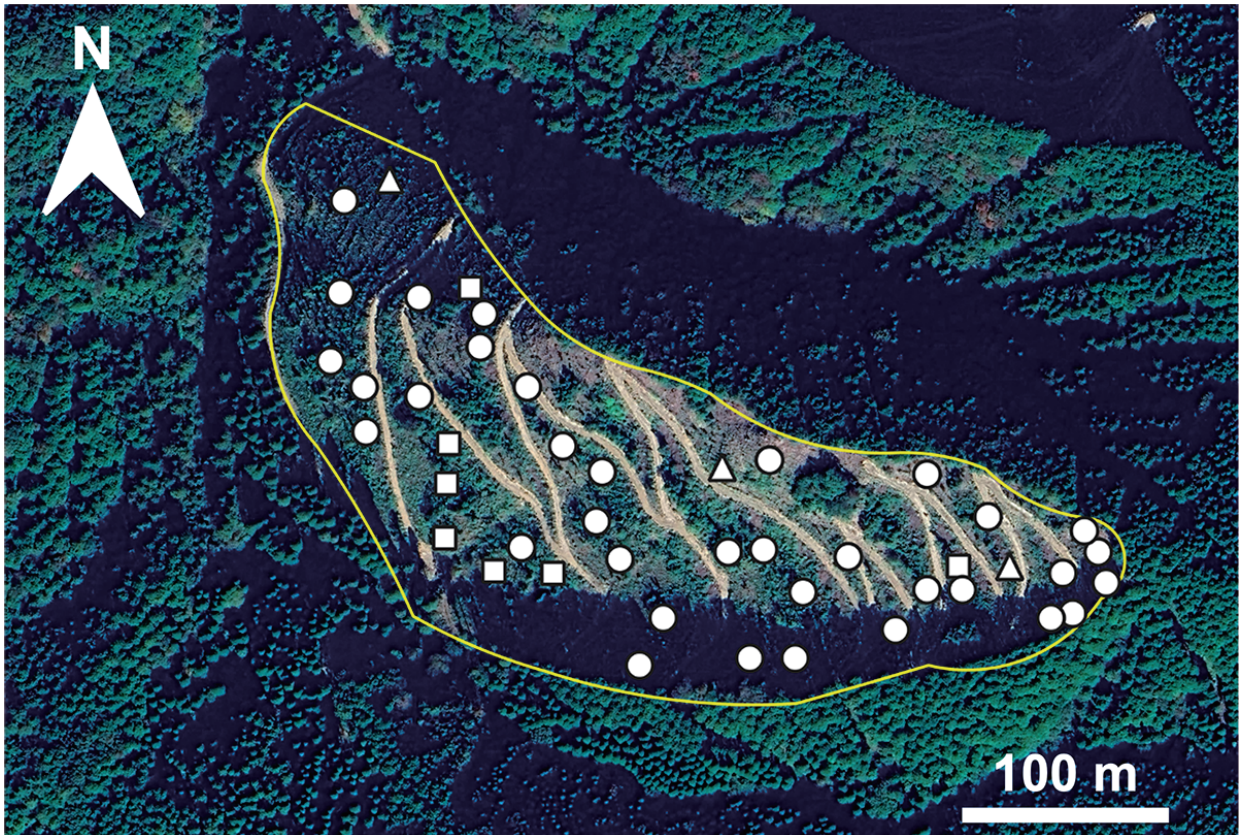


Fig. 1. 長野山国有林における保持木の分布図
黄色枠内が対象林地。幼樹から成木の個体を○、損傷個体を□、萌芽更新個体を△で示す。



Fig. 2. 西土佐水源林における保持木の分布図
黄色枠内が対象林地。幼樹から成木の個体を○、稚樹を☆、損傷個体を□、萌芽更新個体を△で示す。

持林業の基準に従い (Simonsson et al. 2014)、haあたり約10本とした。この本数は、生物多様性の保全上からは少数 (下限値) といえる一方 (Ozaki et al. 2024)、保持林施業による経済的損失の増加は小さく抑えられる (Tsushima et al. 2023)。すなわち、特に経済的損失の低減の観点から実現可能性の高い保持本数である (Ozaki et al. 2024)。保持木の空間配置は、複数の保持木をまとめて残す群状保持ではなく、単独で残す単木保持とした。

保持林業は自然攪乱後に残される生物遺産 (biological legacy) がその後の生態系回復に寄与するというプロセスを再現する施業である (Franklin 1989, Gustafsson et al. 2012, 柿澤ら 2018)。生物遺産は生物や生物遺骸、生物由来の環境を指し、生立木だけではなく立ち枯れ木や倒木、シードバンクなども含まれる (Franklin et al. 2000)。そのため稚樹や実生更新個体、先折れした個体や中伐りされた個体 (以下、損傷個体という)、根元で伐採された後に萌芽更新を始めている個体 (以下、萌芽更新個体という) を保持木とすることも保持林業の概念に沿っている。本研究で調査地とした2林地においても損傷個体や稚樹は、健全な個体や大きく育った個体に比べ効果は小さいものの主伐時に生物多様性保全の機能を果たしていると推測された。萌芽更新個体は保持木として今後の下刈り作業で刈り払われなければ稚樹よりも早く成長し (斎藤2020)、次期の主伐時には生物多様性保全に有効な個体になり得ると考えられた。そこで、できるだけ大きく育った健全で通直な個体が林地に存在しない場合は、稚樹や損傷個体、萌芽更新個体も保持木として選木した。そして選木された保持木を幼樹から成木 (DBHもしくはDTBが3 cm 以上、または樹高が2.5 m 以上) の個体、稚樹 (DBHもしくはDTBが3 cm 未満かつ樹高が2.5 m 未満)、損傷個体、萌芽更新個体に区分した。

保持木の選木と毎木調査

長野山国有林では、著者らが視察のために現地を訪れた時点 (2022年3月) で既に主伐が完了しており、地拵えが行われる前の2022年6月に著者らが保持木の選木と毎木調査を行った。地拵えと植栽が終了した2023年3月に同地を再訪し、選木した保持木の全個体が生存していることを確認した。

西土佐水源林では、著者らが視察のために現地を訪れた時点 (2022年5月) では主伐前であった。将来的に保持林業が各地で導入される際には、林業事業体が植栽木の伐採作業を行いながら保持木を選木する必要がある。そこで西土佐水源林では実際に、林業事業体に保持木となりうる樹木を選木し残しつつ主伐作業を行ってもらった。主伐前の2022年9月に、著者らと整備センター、施業を請け負っている林業事業体である森林組合との間で現地検討会を実施した。現地検討会では、著者らが森林整備センターと森林組合に保持林業の目的と保持木の選木基準、目標保持本数を伝え、三者間で共通認識を持つ

よう努めた。また実際に主伐前の林地を観察しながら、保持木として適していると思われる樹木について議論した。本林地では5か所の伐採地が設けられ、合計5.67 haが伐採された。主伐と地拵えが終了した2024年2月に著者らが同地を再訪し、主伐時に残された広葉樹の中から保持木を選木し毎木調査を行った。

毎木調査では、樹種、胸高直径 (DBH)、樹高、個体位置を記録した。個体位置の記録にはGNSS (Global Navigation Satellite System) 受信機 (Drogger製DG-PROIRWSおよびGarmin製ETREX 32x) を用いた。稚樹や萌芽更新個体などのDBHの測定が不可能であった個体では根元直径 (DTB) を測定した。保持木が今後の下刈りや間伐で伐採されることがないように、目印として各個体にアルミタグとピンクテープを、DBHを測定した個体にはDBH測定位置に赤色のペンキを付けた。

西土佐水源林での林業事業体への聞き取り

西土佐水源林では、主伐から植栽までの施業を請け負った林業事業体である森林組合に、施業の感想や保持林業の印象について口頭での聞き取り調査を行った。

結果

保持木の樹種と本数

長野山国有林では、保持木の選木と毎木調査の結果、シロダモ、アカガシ、ホソバタブ、シキミなど計16樹種48本が選木された (Fig. 1, 3, 4, Table 1, Table S1)。このうち、幼樹から成木の個体はシロダモやアカガシなど14樹種37本 (Fig. 3a)、損傷個体はホソバタブなど3樹種8本 (Fig. 3b)、萌芽更新個体はアラカシなど3樹種3本で (Fig. 3c)、稚樹はなかった (Table 1, Table S1)。損傷個体や萌芽更新個体も含まれたものの、林地には成木の広葉樹が数多く生残しており、目標保持本数の保持木を容易に選木することができた。樹種は全て高木性樹種であった (Table 1, Table S1) (大橋ら 2017a, b, 2018a, b)。なお著者らが保持木を選木した後の地拵えと植栽では、保持木の立木位置には植栽できないことを除き、通常の施業が行われた。但し、地拵えと植栽が終了した林地には著者らが選木した保持木以外の広葉樹も多く残された。特にまとまって広葉樹が生育していた場所は除地として扱われ (地拵えと植栽は行われなかった)、森林作業道を除いた林地面積5.30 haのうち除地が0.54 ha、植栽面積は4.76 haとなった。

西土佐水源林の主伐後の林地では成木の広葉樹がいくつか生残していた。例えば林内の崖地には樹高10 m を超える3本のツブラジイが残されていた (Fig. 5a)。しかし個体数は少なく、目標選木本数を満たすほどの本数は生残していなかった。一方で、損傷個体や稚樹、萌芽更新個体が多数生育していた (Fig. 5b, c, Table 1, Table S1)。保持木の選木と毎木調査の結果、ツブラジイ、アラカシ、シロダモ、ヤブニッケイなど計13樹種56本が選木された (Fig. 2, 6, Table 1, Table S1)。このうち、幼樹から成木の個

体はアラカシやツブラジイなど10樹種27本 (Fig. 6a)、稚樹はシロダモなど6樹種7本 (Fig. 6b)、損傷個体はアラカシ2本とツブラジイ1本の2樹種3本 (Fig. 6c)、萌芽更新個体はアラカシやシロダモなど8樹種19本 (Fig. 6d)であった (Table 1, Table S1)。これらの稚樹や萌芽更新個体は、保持木として選定した個体以外にも本林地で多数生育していた。樹種は全て高木性樹種であった (Table 1, Table S1) (大橋ら 2017a, b, 2018a, b)。なお本林地では2024年度のうちには植栽が行われ、保持木の立木位置には植栽できない

ことを除き、通常の施業が行われる予定である。

西土佐水源林で保持林施業を行った林業事業者の感想

西土佐水源林での保持林業の施業に携わった林業事業者体に、施業の感想や保持林業についてどのように考えるかについて聞きとり調査を行った結果、次のような回答が得られた。

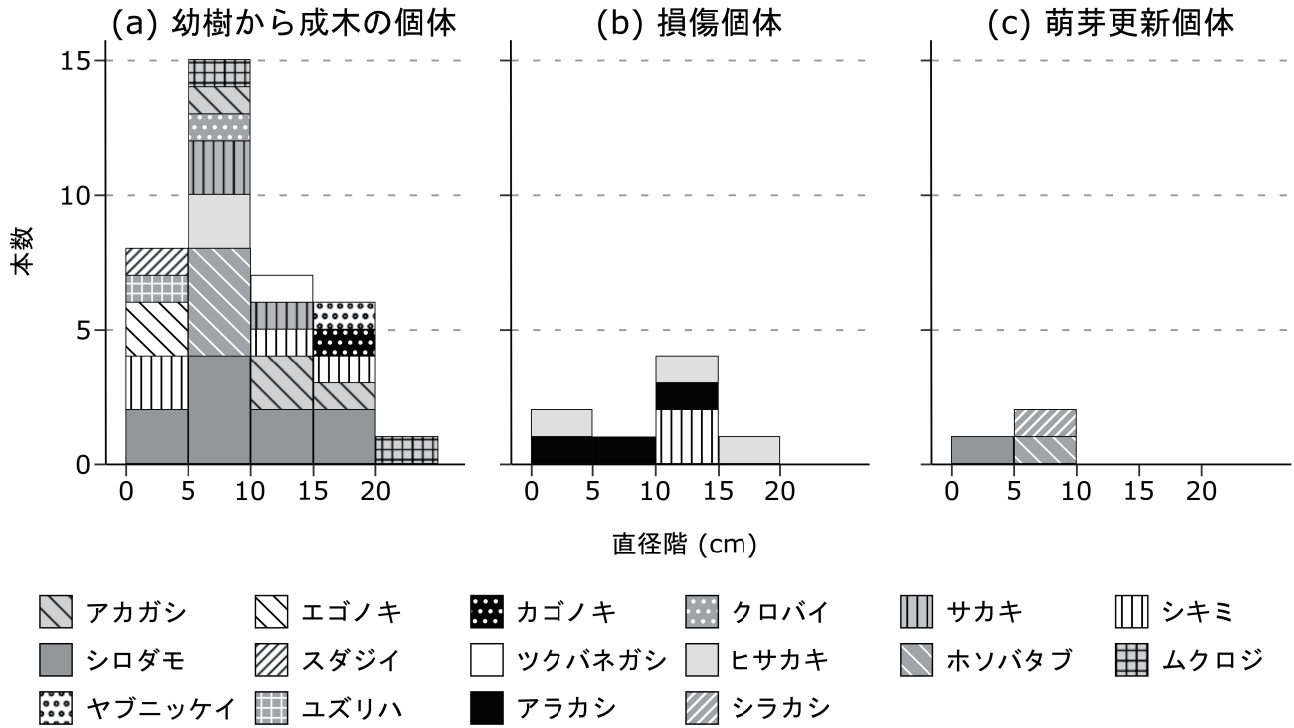


Fig. 3. 長野山国有林 (林地面積 : 5.39 ha) における保持木の直径階分布



Fig. 4. 長野山国有林の主伐後の林地のようす
大きく育った健全で通直な広葉樹が多く生育していた。

Table 1. 長野山国有林・西土佐水源林における保持木の樹種と本数

樹種名	生活型	長野山国有林 (5.39 ha)			西土佐水源林 (5.67 ha)			
		幼樹から成木	損傷個体	萌芽更新個体	幼樹から成木	稚樹	損傷個体	萌芽更新個体
アカガシ <i>Quercus acuta</i>	高木	4	0	0	0	0	0	0
アラカシ <i>Quercus glauca</i>	高木	0	0	1	9	1	2	7
エゴノキ <i>Styrax japonicus</i>	小高木	2	0	0	0	0	0	0
カゴノキ <i>Litsea coreana</i>	高木	1	0	0	0	0	0	0
クロバイ <i>Symplocos prunifolia</i>	高木	1	0	0	0	0	0	0
サカキ <i>Cleyera japonica</i>	小高木	3	0	0	0	0	0	0
シキミ <i>Illicium anisatum</i>	小高木または低木	4	0	1	0	0	0	0
シラカシ <i>Quercus myrsinifolia</i>	高木	0	3	0	0	0	0	0
シロダモ <i>Neolitsea sericea</i>	中高木	10	2	0	3	2	0	3
スダジイ <i>Castanopsis sieboldii</i> subsp. <i>sieboldii</i>	高木	1	0	0	1	0	0	0
ツクバネガシ <i>Quercus sessilifolia</i>	高木	1	0	0	1	0	0	0
ヒサカキ <i>Eurya japonica</i> var. <i>japonica</i>	小高木または低木	2	0	1	1	1	0	2
ホソバタブ <i>Machilus japonica</i>	高木	4	3	0	0	0	0	0
ムクロジ <i>Sapindus mukorossi</i>	高木	2	0	0	0	0	0	0
ヤブニツケイ <i>Cinnamomum yabunikkei</i>	高木	1	0	0	4	1	0	2
ユズリハ <i>Daphniphyllum macropodum</i> subsp. <i>macropodum</i>	高木	1	0	0	0	0	0	0
アキニレ <i>Ulmus parvifolia</i>	高木	0	0	0	1	0	0	0
クリ <i>Castanea crenata</i>	高木または中高木	0	0	0	1	0	0	0
コナラ <i>Quercus serrata</i>	高木	0	0	0	0	0	0	1
タブノキ <i>Machilus thunbergii</i>	大高木	0	0	0	0	1	0	0
ツブラジイ <i>Castanopsis cuspidata</i>	高木	0	0	0	5	1	1	2
ヤブツバキ <i>Camellia japonica</i>	高木	0	0	0	1	0	0	1
ヤマモモ <i>Morella rubra</i>	高木	0	0	0	0	0	0	1
	合計本数	37	8	3	27	7	3	19

生活型は、大橋ら (2017a, b, 2018a, b) を参照し分類した。

施業を行った感想：

- ・施業する限りは苦でもないし、できる範囲でやれば良いと思う。
- ・現場に裁量があるので、自由にやれて不満もなかった。
- ・伐採班と造林班が異なるため引き継ぎ (伝達情報) が難しい。

保持林業について：

- ・伐採地に除地や広葉樹があれば、動物などには良いだろうと以前から思っていた。このような取り組みが進めば良いと思う。
- ・猟の獲物も増えそう。
- ・高木が残れば、下刈り作業時にその木陰で休憩できる。

考察

暖温帯のスギ・ヒノキ林において保持木となりうる広葉樹種と本数

暖温帯に位置する主伐後のスギ・ヒノキ人工林2林地において保持木を選木した結果、長野山国有林ではシロダモ、アカガシ、ホソバタブ、シキミなど16樹種、西土佐水源林ではツブラジイ、アラカシ、シロダモ、ヤブニッケイなど13樹種の高木性広葉樹種が選木された (Fig. 3, 6, Table 1, Table S1)。人工林内に生育する広葉樹種は、周辺の自然林に自生する樹種であることが知られており (Utsugi et al. 2006, Gonzales and Nakashizuka 2010)、本研究で選木された樹種も暖温帯の自然林によくみられる樹種であった (山中 1978)。選木された保持木は、主伐前の人工林造成時から生育していた個体や周辺のシイ・カシ二次林やコナラ群落などから移入してきた個体に由来すると考えられる (Ito et al. 2004, 齊藤ら 2004)。このことから、

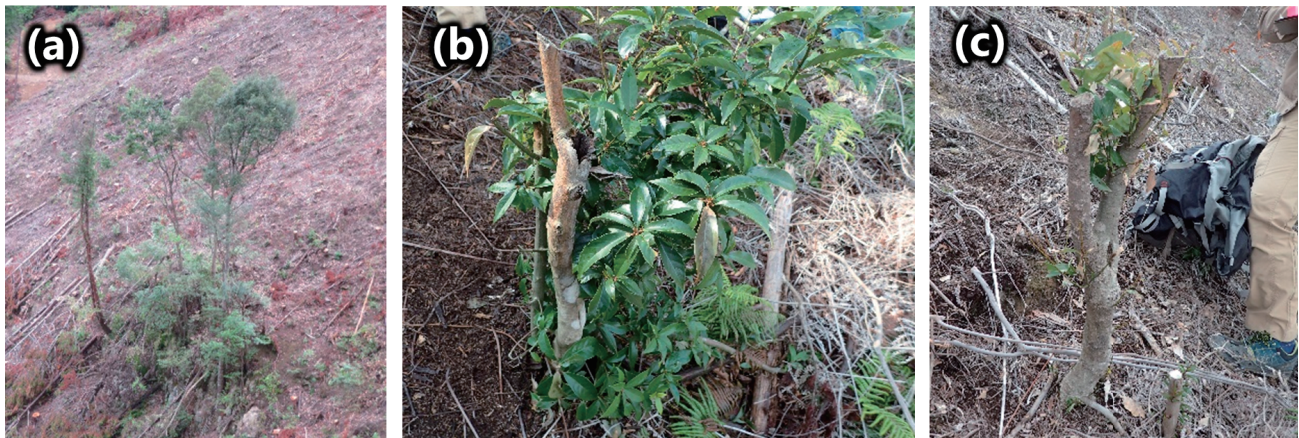


Fig. 5. 西土佐水源林の主伐後の林地のようす

(a) 崖地に残されていた樹高 10 m を超える 3 本のツブラジイ。(b)、(c) 根元で伐採された後に萌芽更新を始めているアラカシ。

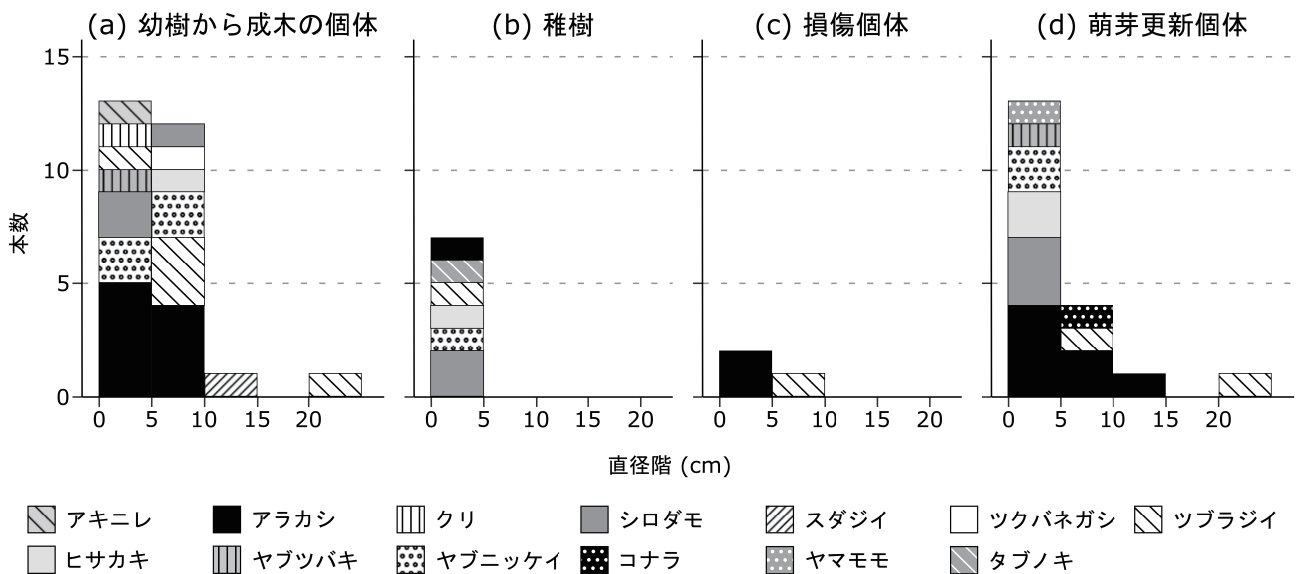


Fig. 6. 西土佐水源林 (林地面積：5.67 ha) における保持木の直径階分布

スギ・ヒノキ人工林の伐採地でも高木性広葉樹は生残し、保持木となりうる事が示された。

本調査での目標保持本数はhaあたり約10本であった。本研究で保持木を選木した結果、主伐後の長野山国有林では成木の広葉樹が多数生育していたため目標保持本数を容易に達成することができた (Fig. 3, Table 1, Table S1)。一方、西土佐水源林では、広葉樹を保持することが意識されつつ植栽木の伐採作業が行われたにも関わらず、主伐後の林地には大きく育った広葉樹は少なかった (Fig. 6, Table 1, Table S1)。したがって、林地によっては主伐後に生残する成木の広葉樹の個体数は異なること、一定程度のDBHまたは樹高に生育した個体という条件を選木基準に付与すると、少量の保持本数であっても残すことの難しい林地も存在することが示された。

主伐後の林地に残った大きく育った広葉樹種の本数が2林地間で異なった理由として、主伐前の林地に生育していた広葉樹の本数や、主伐時に伐採されてしまった広葉樹の本数が異なった可能性が考えられる。主伐前の針葉樹人工林内に生育する広葉樹の本数については、管理方法 (除伐や間伐の頻度) が強く影響し (今ら 2007, 小谷・高田 1999)、それに加えて自然林からの距離 (齊藤ら 2004, Utsugi et al. 2006, Gonzales and Nakashizuka 2010)、土地利用の履歴 (人工林が造林される以前の土地利用) (Ito et al. 2004) も関与することが報告されている。本研究ではこれらの影響は評価していないものの、人工林の管理方法の違いにより広葉樹の更新や発達の程度が異なっており、長野山国有林では主伐前に多くの広葉樹が生育していたと考えられる。

主伐時に伐採された・損傷した広葉樹の本数には、木材の集材方法が影響したと考えられる。西土佐水源林では急傾斜の地形であるためウィンチ集材が行われた。伐採作業を行った作業員の話によると、「樹木をウィンチ集材で斜面から落としたり引き上げたりする際に、伐採せずに残しておくつもりだった広葉樹が巻き込まれ、折れたり損傷してしまった」とのことであった。一方の長野山国有林では作業道が斜面下部から最上部までつづら折りのように入っており、クローラ式車両系での集材が実施された。車両系での集材時に巻き込まれ枯死・損傷する広葉樹はウィンチ集材の場合に比べて少ないと推測される。このことから、主伐前の林地に成木の広葉樹が生育していても、集材方法によっては多くの個体が枯死・損傷してしまうことが示唆された。ウィンチ集材や架線集材を用いる場合には、集材時の枯死・損傷のリスクを考慮して目標選木本数をより大きく設定する必要があると考えられる。

本研究での保持林施業から見えてきた課題

西土佐水源林のように大きく育った広葉樹を数多く保持することが難しい林地での保持林業の実施について、今後検討すべき課題として次の2つが挙げられる。1つ目は、

損傷個体や稚樹、萌芽更新個体の保持木としての有効性を評価することである。自然攪乱後に残される要素がその後の生態系回復に寄与するというプロセスを再現する保持林業の概念のもとでは、それらを保持木として残すことも生物多様性の保全に有効だと期待される。例えば、スウェーデンでは生立木をあえて中切りして立ち枯れ木を創出している (柿澤ら 2018)。

林業事業者からは「集材前に個体を中伐りしておけば、集材時の巻き込みによる個体の消失は一定程度抑えられるのではないか」という意見もあった。損傷個体や稚樹、萌芽更新個体も生物多様性の保全に有効であることが示されれば、積極的に選木対象に加えるという選択肢も考えられるだろう。但し、損傷個体や稚樹、萌芽更新個体の誤伐のリスクや死亡率は、大きく育った個体や健全な個体に比べると高いことが想定されるため、それらを保持木とする際は目標選木本数をより大きく設定すべきかもしれない。

2つ目は、林地内と景観内のそれぞれの空間スケールで、どこに、どのように保持木もしくは保持林業を実施する林地を配置するのかを検討することである。林地内での保持木の配置については、ウィンチ集材や架線集材が行われる林地では、集材の際に伐採木が通過する場所を明らかにしたうえで保持木を残す場所を決める必要があるだろう。例えば、集材の際に伐採木が通過することの少ない尾根に保持木を配置すれば、広葉樹が巻き込まれて折れたり損傷したりすることを回避できる可能性がある。あるいは集材の際に伐採木が通過する区域では損傷木や幼樹や稚樹を積極的に選木する、除伐時に競合広葉樹の生育に応じて保持木を再度選木し直すといった選択肢もあるだろう。

景観内での配置については、針葉樹人工林の一部を針広混交林・広葉樹林へ誘導する動きもあるなかで、今後、景観のどの林地で保持林業を実施することが持続的な森林経営の実現においてより効果的かを検討する必要がある (柿澤ら 2018)。先に述べたように主伐前の人工林内に生育する広葉樹の本数と、除伐や間伐の頻度、自然林からの距離、土地利用の履歴との関係性を評価し、目標保持本数の達成が可能な林地を選ぶ必要があるだろう。目標保持本数の広葉樹を保持することが難しい林地では敢えて保持林業を実施しない、あるいは目標保持本数を少なくするという選択肢も考えられる。また保持林業の実施に適していると考えられる林地としては、生物多様性の劣化リスクの高い林地や、土地の生産力が低い林地、災害リスクの高い林地があげられる (柿澤ら 2018)。

保持木に適した樹種の特定も必要である。本研究では針葉樹人工林で樹種の多様性を高め、動物に食物資源を提供する効果を期待し高木性広葉樹を選木対象とした。先行研究では、生物多様性の促進効果に関わる樹洞などのマイクロハビタットの種類や量、動物への食物資源の提供としての利用可能性は広葉樹種によって異なる

ことが報告されている (Courbaud et al. 2022, Kozák et al. 2023)。また伐採地特有の強光・乾燥・強風条件への耐性の高さといった、保持木の生存率に影響する生理生態学的特性も樹種によって異なることが知られている (Bladon et al. 2008)。今後の研究において、高木性広葉樹種ごとの生物多様性の促進効果や生理生態学的特性を評価し、保持林業の有効性をより高めることのできる樹種を特定する必要がある。

保持林業の施業を行った林業事業体への聞き取り調査を行った結果では、目標保持本数が少数であったためか、おおむね肯定的なコメントが得られた。このことから研究者が丁寧に林業事業体に依頼すれば、植栽地に広葉樹を残すことが可能であること、保持木となりうる樹木を残しつつ伐採作業を実施してもらうことも可能であり、前向きに保持林業を実施できることが示唆された。しかし保持林業の認知度が低いことから、作業班の入れ替わり時に施業内容の情報伝達が難しいことも明らかとなった。将来的に保持林業を普及・導入するためには、林業事業体向けの保持林業の施業指針を施業項目ごとに作成するなど、林業事業体に保持林業の目的と施業方法を理解してもらうための普及活動が必要となるだろう。

本研究で保持林業の施業を実施した林地では、保持林業が生物多様性やその他の森林の公益的機能においてどのような効果が発揮されるのかを明らかにするために、今後も継続してモニタリングを行う必要がある。保持林業の実施に伴う経済的損失を評価するための研究も必要である。北海道で行われている大規模操作実験REFRESHのような保持木の本数や配置を操作した実験をスギ・ヒノキ人工林でも実施することも検討されるべきだろう。今回の保持林施業を契機に、スギ・ヒノキ人工林における保持林業の効果や履行可能性の検証が進展することを期待する。そして有意義な施業方法と示されたならば、保持林業が社会で認知・支持され各地で発展することを願う。

謝辞

本研究を行うにあたり、四国森林管理局、四万十森林管理署、森林整備センター中国四国整備局、森林整備センター高知水源林整備事務所、西土佐村森林組合の皆様には多大なるご理解とご協力をいただきました。森林総合研究所の岡輝樹四国支所長には、本取り組みへの大きな支持をいただきました。編集委員および匿名の査読者の皆様には、貴重なご助言をいただきました。また本研究は、公益財団法人日本生命財団の「2023年度環境問題研究助成(若手研究・奨励研究)」の助成を受けて実施されました。心より感謝申し上げます。

引用文献

- Akashi, N. (2023) Responses of understory vascular plant communities up to 6years after retention harvesting in planted *Abies sachalinensis* forests. *For. Ecol. Manag.*, 538, 120991.
- Bladon, K.D., Lieffers, V.J., Silins, U., Landhäuser, S.M. and Blenis, P.V. (2008) Elevated mortality of residual trees following structural retention harvesting in boreal mixedwoods. *Forest. Chron.*, 84, 70–75.
- Courbaud, B., Larrieu, L., Kozak, D., Kraus, D., Lachat, T., Ladet, S., Müller, J., Paillet, Y., Sagheb-Talebi, K., Schuck, A., Stillhard, J., Svoboda, M. and Zudin, S. (2022) Factors influencing the rate of formation of tree-related microhabitats and implications for biodiversity conservation and forest management. *J. Appl. Ecol.*, 59, 492–503.
- Fedrowitz, K., Koricheva, J., Baker, S.C., Lindenmayer, D.B., Palik, B., Rosenvald, R., Beese, W., Franklin, J.F., Kouki, J., Macdonald, E., Messier, C., Sverdrup-Thygeson, A. and Gustafsson, L. (2014) Can retention forestry help conserve biodiversity? A meta-analysis. *J. Appl. Ecol.*, 51, 1669–1679.
- Franklin, J.F. (1989) Toward a new forestry. *Am. For.*, 95, 37–44.
- Franklin, C.M.A., Macdonald, S.E. and Nielsen, S.E. (2018) Combining aggregated and dispersed tree retention harvesting for conservation of vascular plant communities. *Ecol. Appl.*, 28, 1830–1840.
- Franklin, J.F., Berg, D.R., Thornburgh, D.A. and Tappeiner, J.C. (1997) Alternative silvicultural approaches to timber harvesting: Variable retention systems. In Kohm, K.A. and Franklin, J.F. (eds.) “*Creating a Forestry for the 21st Century: The Science of Forest Management*”. Island Press, 111–139.
- Franklin, J.F., Lindenmayer, D., MacMahon, J.A., McKee, A., Magnuson, J., Perry, D.A., Waide, R. and Foster, D. (2000) Threads of continuity: ecosystem disturbances, biological legacies and ecosystem recovery. *Conserv. Pract.*, 1, 8–16.
- Gonzales, R.S. and Nakashizuka, T. (2010) Broad-leaf species composition in *Cryptomeria japonica* plantations with respect to distance from natural forest. *For. Ecol. Manag.*, 259, 2133–2140.
- Gustafsson, L., Baker, S.C., Bauhus, J., Beese, W.J., Brodie, A., Kouki, J., Lindenmayer, D.B., Löhmus, A., Pastur, G.M., Messier, C., Neyland, M., Palik, B., Sverdrup-Thygeson, A., Volney, W. J. A., Wayne, A. and Franklin, J.F. (2012) Retention Forestry to Maintain Multifunctional Forests: A World Perspect., *BioScience*, 62, 633–645.
- 長谷川敬一・久田喜二 (1980) 造林投資の採算性の比較—とくに主要造林樹種の経年変動と地域別変異—. 林業

- 試験場研究報告, 311, 1–44.
- 五十嵐哲也・牧野俊一・田中 浩・正木 隆 (2014) 植物の多様性の観点から人工林施業を考える—日本型「近自然施業」の可能性—. 森林総合研究所研究報告, 13, 29–42.
- 伊藤 哲 (2018) 保持林業と複層林施業. 柿澤宏昭・山浦悠一・栗山浩一編「保持林業—木を伐りながら生き物を守る—」. 築地書館, 208–248.
- Ito, S., Nakayama, R. and Buckley, G.P. (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. Manag.*, 196, 213–225.
- 柿澤宏昭・山浦悠一・栗山浩一 (2018) 保持林業—木を伐りながら生き物を守る—. 築地書館. 372pp.
- 環境省自然保護局生物多様性センター (2024) “自然環境調査Web-GIS”, <http://gis.biodic.go.jp/webgis/>, (参照 2024-8-1).
- Kawamura, K., Yamaura, Y., Soga, M., Spake, R. and Nakamura, F. (2021) Effects of planted tree species on biodiversity of conifer plantations in Japan: a systematic review and meta-analysis. *J. For. Res.*, 26, 237–246.
- Keenan, R.J. and Kimmins, J.P. (1993) The ecological effects of clear-cutting. *Environ. Rev.*, 1, 121–144.
- 気象庁 (2024) “過去の気象データ検索 江川崎 (高知県) 平年値 (年・月ごとの値) 主な要素”, https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/view/nml_amd_ym.php?prec_no=74&block_no=1235&year=&month=&day=&view=, (参照 2024-5-4).
- 小谷二郎・高田兼太 (1999) スギ人工林の林床での広葉樹の侵入および優占様式. 石川県林業試験場研究報告, 30, 1–10.
- 今 博計・渡辺一郎・八坂通泰 (2007) トドマツ人工林における間伐が広葉樹の天然下種更新に及ぼす影響. 日本森林学会誌, 89, 395–400.
- 木平勇吉 (2003) 森林計画学. 朝倉書店. 228pp.
- Kozák, D., Svitok, M., Zemlerová, V., Mikoláš, M., Lachat, T., Larrieu, L., Paillet, Y., Buechling, A., Bače, R., Keeton, W. S., Vítková, L., Begovič, K., Čada, V., Dušátko, M., Ferenčík, M., Frankovič, M., Gloor, R., Hofmeister, J., Janda, P., Kameniar, O., Kníř, T., Majdanová, L., Mejstřík, M., Pavlin, J., Ralhan, D., Rodrigo, R., Roibu, C.C. Synek, M., Vostarek, O. and Svoboda, M. (2023) Importance of conserving large and old trees to continuity of tree-related microhabitats. *Conserv. Biol.*, 37, e14066.
- Mori, A.S. and Kitagawa, R. (2014) Retention forestry as a major paradigm for safeguarding forest biodiversity in productive landscapes: A global meta-analysis. *Biol. Conserv.*, 175, 65–73.
- 長池卓男 (2002) 森林管理が植物種多様性に及ぼす影響. 日本生態学会誌, 52, 35–54.
- Obase, K., Yamanaka, S., Yamanaka, T. and Ozaki, K. (2022) Short-term effects of retention forestry on the diversity of root-associated ectomycorrhizal fungi in Sakhalin fir plantations, Hokkaido, Japan. *For. Ecol. Manag.*, 523, 120501.
- 大橋広好・門田祐一・木原 浩・邑田 仁・米倉浩司 (2017a) 改訂新版日本の野生植物1. 平凡社, 666pp.
- 大橋広好・門田祐一・木原 浩・邑田 仁・米倉浩司 (2017b) 改訂新版日本の野生植物2. 平凡社, 640pp.
- 大橋広好・門田祐一・木原 浩・邑田 仁・米倉浩司 (2018a) 改訂新版日本の野生植物3. 平凡社, 604pp.
- 大橋広好・門田祐一・木原 浩・邑田 仁・米倉浩司 (2018b) 改訂新版日本の野生植物4. 平凡社, 606pp.
- Ozaki, K., Akashi, N., Kawamura, K., Obase, K., Ueda, A., Unno, A., Yamanaka, S. and Yamaura, Y. (2024) Retention forestry in plantations: Synthesizing key findings of early studies from a long-term experiment in northern Japan. *For. Ecol. Manag.*, 562, 121929.
- 尾崎研一・明石信廣・雲野 明・佐藤重穂・佐山勝彦・長坂晶子・長坂 有・山田健四・山浦 悠一 (2018) 木材生産と生物多様性保全に配慮した保残伐施業による森林管理—保残伐施業の概要と日本への適用—. 日本生態学会誌, 68, 101–123.
- 林野庁 (2021) “森林・林業基本計画”, <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/plan/attach/pdf/index-10.pdf> (参照 2024-4-6)
- 林野庁 (2024) “森林・林業・木材産業の現状と課題”, https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/genjo_kadai/ (参照 2024-4-5)
- Saito, H., Murakami, W., Daimaru, H. and Oguchi T. (2017) Effect of forest clear-cutting on landslide occurrences: analysis of rainfall thresholds at Mt. Ichifusa, Japan. *Geomorphol.*, 276, 1–7.
- 斎藤新一郎 (2020) 落葉広葉樹類における実生起源木と萌芽起源木の初期成長量の違い. 北方森林研究, 68, 21–24.
- 齊藤 哲・小南陽亮・永松 大・佐藤 保・大谷達也 (2004) 暖温帯のスギ人工林内における広葉樹の混交状態. 九州森林研究, 57, 83–86.
- 佐藤 保 (2021) 針広混交林を目指す市町村森林経営管理の施業. 全国林業改良普及協会. 173pp.
- 清和研二 (2022) スギと広葉樹の混交林 蘇る生態系サービス. 農山漁村文化協会. 203pp.
- Simonsson, P., Gustafsson, L. and Östlund, L. (2014) Retention forestry in Sweden: driving forces, debate and implementation 1968–2003. *Scandinavian J. For. Res.*, 30, 154–173.
- 滝谷美香 (2014) カラマツ, トドマツ人工林施業の低コスト化へ向けた植栽, 育林方法. 北方森林研究, 62, 3–6.

- Teshima, N., Kawamura, K., Akasaka, T. Yamanaka, S. and Nakamura, F. (2022) The response of bats to dispersed retention of broad-leaved trees in harvested conifer plantations in Hokkaido, northern Japan. *For. Ecol. Manag.*, 519, 120300.
- The National Board of Forestry Sweden (1992) (神崎康一・藤井禧雄・竹内典之・古谷士郎・山本俊明・沼田邦彦・瀧本義彦・井上 裕・酒井徹朗・後藤純一・芝 正己・近藤恵一・広部伸二・山田容三・石川知明・鈴木保志・田中良明・吉村哲彦・長谷川尚史訳, 1997) 豊かな森へ—A Richer FOREST, こぶとち出版会, 134pp.
- Tsushima, T., Watanabe, I., Akashi, N. and Ozaki, K. (2023) Productivity and cost of retention harvesting operation in conifer plantations. *For.*, 14, 324.
- Ueda, A., Ito, H. and Sato, S. (2022) Effects of dispersed and aggregated retention-cuttings and differently sized clear-cuttings in conifer plantations on necrophagous silphid and dung beetle assemblages. *J. Insect Conserv.*, 26, 283–298.
- Utsugi, E., Kanno, H., Ueno, N., Tomita, M., Saitoh, T., Kimura, M., Kanou, K. and Seiwa, K. (2006) Hardwood recruitment into conifer plantations in Japan: effects of thinning and distance from neighboring hardwood forests. *For. Ecol. Manag.*, 237, 15–28.
- Yamanaka, S., Yamaura, Y., Sayama, K., Sato, S. and Ozaki, K. (2021) Effects of dispersed broadleaved and aggregated conifer tree retention on ground beetles in conifer plantations. *For. Ecol. Manag.*, 489, 119073.
- 山中二男 (1978) 高知県の植生と植物相. 林野弘済会高知支部, 461pp.
- Yamaura, Y., Akashi, N., Unno, A., Tsushima, T., Nagasaka, A., Nagasaka, Y. and Ozaki, K. (2018) Retention Experiment for Plantation Forestry in Sorachi, Hokkaido (REFRESH): A large-scale experiment for retaining broad-leaved trees in conifer plantations. *Bull. For. & For. Product. Research Inst.*, 17, 91–109.
- Yamaura, Y., Lindenmayer, D., Yamada, Y., Gong, H., Matsuura, T., Mitsuda, Y. and Masaki, T. (2019) A spatially-explicit empirical model for assessing conservation values of conifer plantations. *For. Ecol. Manag.*, 444, 393–404.
- Yamaura, Y., Shoji, Y., Mitsuda, Y., Utsugi, H., Tsuge, T., Kuriyama, K. and Nakamura, F. (2016) How many broad-leaved trees are enough in conifer plantations? The economy of land sharing, land sparing, and quantitative targets. *J. Appl. Ecol.*, 53, 1117–1126.
- Yamaura, Y., Unno, A. and Royle, J.A. (2023) Sharing land via keystone structure: retaining naturally regenerated trees may efficiently benefit birds in plantations. *Ecol. Appl.*, 33, e2802.

補足電子資料

Table S1. 長野山国有林・西土佐水源林での保持木の毎木調査データ

Application of retention forestry to *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* plantations in Shikoku, southern Japan

Mifumi SETO^{1)*}, Kanji TOMITA²⁾, Yuichi YAMAURA³⁾, Shigeho SATO⁴⁾, Reiji YONEDA³⁾,
Satoshi YAMANAKA⁵⁾, Motoki HIGA⁶⁾, Tomoaki ICHIE²⁾ and Yasushi SUZUKI²⁾

Abstract

This study examined which broadleaf tree species could be retained trees and whether retention of about 10 trees per hectare would be feasible, if the retention forestry were applied to *Cryptomeria japonica* (cedar) or *Chamaecyparis obtusa* (cypress) plantations in Shikoku, Japan. The selection criterion was to retain large, healthy hardwood trees at 10 trees per hectare. Selections were made at two post-harvest plantations. We also gathered feedback from forestry operators on their impressions and experiences of retention forestry. At one site, saplings, damaged individuals and coppice regeneration individuals were also selected. In some forests, selecting only broadleaf trees that have grown to a certain size may make it difficult to achieve even low retention densities. Forestry operators were positive about retention forestry, but the difficulty of communicating the details of operations between work teams was noted.

Key words : retention of broad-leaved trees, forest management, biodiversity conservation, multifunctionality of forests, dispersed retention, selective logging, warm-temperate zone

Received 17 May 2024, Accepted 9 October 2024

1) Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Kochi University

2) Faculty of Agriculture and Marine Sciences, Kochi University

3) Shikoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

4) Research Planning and Coordination Department, FFPRI

5) Hokkaido Research Center, FFPRI

6) Faculty of Science and Technology, Kochi University

* Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Kochi University, 2-5-1 Akebono-cho, Kochi-shi, Kochi 780-8520 JAPAN;

E-mail: eriajpn323@gmail.com