

論文

斜面下部域や谷底面におけるスギ人工林の植生型に対応した 目標林型の設定と誘導方法の検討^{*1}

片野田逸朗^{*2}・畠中雅之^{*2}

片野田逸朗・畠中雅之：斜面下部域や谷底面におけるスギ人工林の植生型に対応した目標林型の設定と誘導方法の検討 九州森林研究 75：35－43，2022 森林経営管理制度のもと，市町村が林業経営に適さない人工林を針広混交林等へ誘導するためのマニュアル作成が求められている。そこで，斜面下部域や谷底面の森林を対象に植生調査を行い，植物社会学的手法で得られた植生型を用いてスギ人工林の現況把握と目標林型の設定及びその誘導方法について検討した。その結果，谷底面の水田跡地の人工林に多いナチシダ型では木本類の出現頻度が少なく，高い土壌含水率によって造林木径級の優劣が顕在化する傾向がみられたことから，劣勢木の全伐と夏緑高木種の植栽等による夏緑広葉樹型針広混交林への誘導が考えられた。一方，スギ人工林のクスノキ科型とシイ・カシ型は主に斜面下部域の自然地形に成立し，造林木径級の優劣が顕在化する傾向はみられなかったことから，シイ・カシ型は収量比数0.5～0.6程度の抜き伐りによってシイ・カシ型針広混交林へ，林冠を優占する種群を持たなかったクスノキ科型は同施業によって林分構造の発達した複層林へ誘導することが考えられた。

キーワード：森林経営管理制度，スギ人工林，針広混交林化，植生型，目標林型

I. はじめに

2019年度施行の森林経営管理制度により，自然条件に照らし林業経営に適さない人工林については市町村が管理コストの低い針広混交林等へ誘導していくこととなった。さらに2019年度から森林環境譲与税の譲与も開始されたことで，これらの制度を活用した森林整備や人材育成等の取組が全国の市町村で行われるようになり，事例集（林野庁，2020）も公表されているが，人工林の針広混交林化に向けた事業としての取組事例はまだみられない。

佐藤（2021）は，人工林を針広混交林等へ誘導する上で欠かすことのできない考えが目標林型であるとし，それは施業対象とする林分をどのような森林に仕立てたいのか具体的に示したものであるとともに，施業対象とする現在の森林の姿を正しく理解することも目標林型に到達するために必要な作業であるとしている。一方，市町村の林務担当職員の間には森林・林業の専門的知識を持たないことが一般的であり（柿澤，2004），加えて人工林を針広混交林へ誘導する施業は未確立の技術であり（田内，2010），技術的指針が作られたとしても，最終的には現地調査での判断が最も重要となるため（今，2010），ほとんどの市町村では主体的に針広混交林化に取り組むことは困難と考えられる。このような林業専門職を持たない市町村に対しては，都道府県所属の森林総合監理士（フォレスター）による技術的サポートが期待される（大石ほか，2018）が，そのためにはフォレスターが針広混交林化の技術をわかりやすく市町村職員に伝えるためのマニュアルが必要であろう。

これまでに幾つかの地方自治体で針広混交林化に関するマニュアルが作成されている（秋田県農林水産部森林整備課，2013；山

梨県森林総合研究所，2016；大阪府立環境農林水産総合研究所生物多様性センター，2020）。これらのマニュアルでは針広混交林化のための施業方法やその事例等が紹介されているが，これらの情報に加え，人工林がどのような特徴を持った樹種でどのように構成され，その人工林をどのような種組成をした針広混交林等へ誘導していくべきなのか，それらを森林の具体的な姿で示すことができれば，市町村職員は地域の森林を直感的または生態学的に捉えることができるようになり，針広混交林化に必要な現場での判断力も身につくのではないかと考えられる。このような目的のもと，畠中・片野田（2020）は植物社会学的手法によって得られた人工林の植生資料を基に人工林の植生型を抽出し，その林況を把握することで目標林型やその誘導方法を検討しているが，目標林型が実際の針広混交林や自然林で得られた植生資料に基づく具体的な姿（植生型）で示されていないため，人工林の各植生型に対応した目標林型の設定やその誘導方法に関する根拠が乏しく，内容的には暫定的なものにとどまっている。

そこで，本研究では畠中・片野田（2020）の植生資料に新たに得られたスギ人工林や針広混交林，自然林の植生資料を加え，あらためてスギ人工林やその誘導目標となるべき針広混交林や自然林の植生型を設定し，それらの種構成や林分構造を比較・検討することで，人工林の各植生型に対応した目標林型の設定と，目標林型に誘導するための施業方法について検討を行った。

II. 調査地と方法

2019年5月から2020年8月にかけて，始良市蒲生町の別府川支流である前郷川と田平川周辺の斜面下部域や谷底面のスギ人工林（以下「人工林」）と人工林の林冠層に広葉樹が混入した林分

^{*1} Katanoda, I., Hatanaka, M. : Setting target of forest structure corresponding to vegetation type of *Cryptomeria japonica* plantations at lower side-slope and bottomlands, and its methods of inducing.

^{*2} 鹿児島県森林技術総合センター Kagoshima Pref. Forestry Technology Ctr., Aira 899 - 5302, Japan

(以下「針広混交林」) または自然林を対象に植物社会学的手法(鈴木ほか, 1985)を用いて植生調査を実施し, 約20×20 m内に出現する種の優占度や群度を階層ごとに記録し, 環境要因である微地形や土地利用形態等を記録した。人工林と針広混交林では林分から標準的な造林木を選び, 測高器パーテックスⅣを用いて樹高を測定するとともに, 無作為に選んだ5本の造林木の胸高直径(DBH)を測定した。また, 平均的な立木配置と思われる地点を中心に4.5 mの釣り竿に調査者の腕の長さを足して半径5.65 mの半径をつくり, これを一周させて100 m²円内の造林木密度を記録するとともに, これらの数値を用いて造林木の形状比と取量比を求めた。なお, 微地形は田村(1987)により谷底面と下部谷壁斜面, 麓部斜面に区分したが, データ解析に際しては下部谷壁斜面と麓部斜面は斜面下部域として処理した。

得られた植生資料は人工林の資料群と, 目標林型となるべき針広混交林及び自然林の資料群とに分けて表操作を行い, 植生型を区分した。表操作では出現したすべての種を同価値とみなし, その中から植生単位を決定する種群を発見することが重要であるとされている(生態学実習懇談会, 1967)。しかし, 本研究の目的は人工林を針広混交林等に誘導するための植生型を見出すことで

あり, 針広混交林化では高木種の人工林内での前生稚樹としての定着状況が重要な要素(森林総合研究所, 2010)とされているため, そのような状況が表操作に反映されなければならない。ところが, 表操作では出現種の各階層の優占度の中から最も高い優占度のみを用いるため, 階層別の生育状況が表操作に反映されにくい。この場合, 高木種が草本層のみに芽生えや稚苗等で出現するような(草本層の優占度: +), 林内での定着が不確かな状況と, 高木種が低木層のみに前生樹としてわずかに出現するような(低木層の優占度: +), 個体数が少ないものの林内での定着が確実な状況が同等に扱われてしまうことになる。このため, 高木種については, できるだけ林内での確実な定着のみが表操作に反映されやすいように, 草本層における高木種の最も低い優占度評価(+)を削除した後, 各階層の最も高い優占度を用いて表操作を行った。また, 出現種の常緑性や生活型(シダ, 草本, 低木, 亜高木, 高木, つる植物), 種子散布型(重力散布, 被食散布, 風散布, 付着散布)を大橋ほか(2017)や森林総合研究所(2010)に基づき, シカの植物嗜好性を橋本・藤木(2014)や小南ほか(2001)に基づいて整理することで, 植生型や種群の特徴を把握した。さらに, 人工林を針広混交林等へ誘導するためには, 対象

表-1. 常在度表

植 生 型	I						II		III		出 現 回 数	種 特 性 常 緑 性 生 活 型 シ カ 嗜 好 性
	A		B		C		A	B	A	B		
	a	b	a	b	a	b						
資 料 数	16	12	16	13	16	5	12	3	13			
造林樹種	V ₃₋₅ V ₃₋₄ V ₃₋₅ V ₃₋₅ V ₃₋₅ V ₂₋₃ V ₁₋₅										90	(造林木)
スギ												
種群1 (好湿性草本類)												
ナチシダ	V ₊₅	V ₊₃	I ₊	I ₊	I ₊	I ₊	I ₊	2 ₊₅			35	— シ — 不
オオバチドメ	IV ₊₁	IV ₊	I ₊	I ₊	II ₊	IV ₊	I ₊	1 ₊			32	— 草 — —
ナガバヤブマオ	III ₊₃	III ₊₁		I ₊	I ₊	II ₊₂	I ₊	1 ₊	I ₊		26	— 草 — 不
ハチジョウシダモドキ	IV ₊₁	III ₊₁			I ₊						21	— シ — —
ミズヒキ	II ₊	III ₊₁		I ₊		II ₊		2 ₊			15	— 草 付 採
種群2 (常緑低木類)												
ヒサカキ			II ₊₁	IV ₁₋₂	IV ₊₁	II ₊	IV ₊₃		IV ₊₂		44	常 低 被 採
ネズミモチ			II ₊₁	II ₊₂	II ₊₁	II ₊	II ₁₋₂		III ₊₁		22	常 低 被 採
カンザブrouノキ			I ₁₋₂	II ₁₋₂	III ₁₋₂		I ₁		II ₊₂		19	常 亜 被 不
ウスギモクセイ			II ₊₁	I ₊₃	II ₁₋₂		I ₁₋₂		II ₊₂		18	常 亜 被 —
種群3 (クスノキ科高木)												
シロダモ	I ₊	V ₊₂	III ₁₋₃	III ₊₁	IV ₊₂	IV ₁₋₂	III ₁₋₂	3 ₂	III ₊₃		59	常 高 被 不
バリバリノキ		IV ₊₂	III ₁₋₂	II ₁₋₃	III ₁₋₂	I ₂	II ₊₂	2 ₁₋₂	II ₊₂		39	常 亜 被 不
イヌガシ		II ₊₁	II ₁₋₃	III ₁₋₂	III ₊₂	I ₁	II ₊₁	2 ₊₁	III ₊₁		36	常 高 被 不
ホソバタブ			II ₁₋₂	III ₊₂	III ₁₋₂		I ₁	1 ₁	III ₊₂		29	常 高 被 採
ヤブニッケイ			I ₊	I ₁₋₂	II ₊₂		I ₁		II ₊₂		15	常 高 被 採
種群4 (ブナ科高木)												
アラカシ	I ₊	I ₊		V ₊₄	IV ₊₂		IV ₁₋₃		V ₁₋₃		48	常 高 重 採
イチイガシ					IV ₊₂		IV ₁₋₃		IV ₁₋₃		28	常 高 重 採
シイノキ					III ₊₂		III ₊₃		V ₊₃		24	常 高 重 採
その他高木												
ヤブツバキ		I ₊₁	I ₊₁	III ₊₁	IV ₊₂		III ₊₃		IV ₊₂		40	常 高 重 採
エゴノキ	I ₁	II ₊₂	I ₂	I ₊₁	II ₊₁		I ₁₋₂	1 ₂	IV ₊₂		24	夏 高 被 採
チシャノキ	I ₊₁	I ₁	I ₁	I ₁	II ₊₂	I ₂	II ₂		II ₊₁		21	夏 高 被 —
ムクロジ	III ₊₂	II ₁₋₂		I ₊	I ₊		I ₁₋₂	1 ₂			17	夏 高 重 —
タラヨウ				I ₁	I ₊₁		I ₁		II ₊₁		11	常 高 被 —
以下省略												

注1) I : スギ人工林, II : 針広混交林, III : 自然林, その他の植生型の名称は表-2のとおり
 注2) シカ嗜好性は橋本・藤木(2014)に拠るが, 同資料で不嗜好と採食の両方で判定の根拠となった文献数が記録されている場合は, 文献数の多い方の判定を採用した。また, 種群3のクスノキ科高木の嗜好性は小南ほか(2001)を参考にした。

表-2. 各植生型の諸元

林型	ナチシダ型		クスノキ科型		シイ・カシ型		針広混交林 (II)		自然林 (III)	
	I-A		I-B		I-C		II-A	II-B	III-A	III-B
	ナチシダ亜型 シロダモ亜型		-		アラカシ亜型 シイノキ亜型		-	-	-	-
	I-A-a	I-A-b			I-C-a	I-C-b				
資料数	16	12	16	13	16	5	12	3	13	
立地環境										
谷底面	水田跡地	8	8	1	2	0	1	0	2	0
	自然地形	2	3	4	1	3	0	2	0	4
斜面	水田跡地	2	0	0	0	0	1	0	1	0
	自然地形	4	1	11	10	13	3	10	0	9
高木層	高さ(m)	29.2±6.0	28.8±6.1	33.6±6.5	33.2±4.9	29.8±3.7	28.4±6.0	26.9±4.7	17.5±5.5	19.3±5.1
	植被率(%)	56.6±18.3	60.0±15.3	68.1±7.3	66.2±15.5	70.6±8.3	68.0±16.0	68.3±20.0	10.0±8.2	72.3±12.5
亜高木層	高さ(m)	11.5±1.5	12.0±4.2	14.2±4.2	15.2±1.8	14.8±2.6	18.3±2.0	15.3±2.6	12.7±3.3	11.9±3.3
	植被率(%)	3.8±12.2	5.8±7.9	18.6±18.5	18.1±19.0	28.1±15.5	11.0±8.0	5.8±1.2	26.7±23.9	34.6±12.2
低木層	高さ(m)	4.4±1.9	4.6±1.0	4.8±1.3	5.8±1.4	5.1±0.7	5.2±0.7	5.2±0.7	4.3±0.5	4.9±0.5
	植被率(%)	8.8±10.9	12.7±9.9	25.4±18.1	35.0±18.6	33.1±12.6	21.0±11.1	35.0±15.5	27.3±17.9	25.4±11.5
草本層	高さ(m)	1.4±0.3	1.4±0.3	1.3±0.3	1.3±0.3	1.3±0.3	1.4±0.2	1.3±0.3	1.5±0.4	1.3±0.2
	植被率(%)	72.5±20.8	61.7±25.2	41.9±26.9	40.4±26.9	29.7±22.3	46.0±19.6	29.2±23.9	53.3±37.0	20.3±13.5
出現種数	26.8±6.8	30.5±9.8	30.9±8.3	31.6±7.9	34.5±7.5	35.6±9.3	31.0±7.1	23.0±5.1	39.6±10.2	
林齢(年生)	43.9±15.3	52.8±16.5	68.6±16.8	71.4±17.1	68.4±10.0	59.4±21.0	68.1±13.4	-	-	
造林木										
DBH(cm)	29.1±7.6	37.0±10.1	36.9±10.0	39.1±8.7	33.9±5.8	33.6±4.5	42.5±17.3	-	-	
密度(本/100m ²)	8.5±3.6	9.0±3.7	8.3±3.4	7.3±4.1	10.1±3.4	5.0±1.7	3.7±2.4	-	-	
形状比(樹高/DBH)	97.2±18.2	81.4±21.0	96.3±27.7	89.6±24.7	89.0±8.8	86.4±23.5	74.8±28.3	-	-	
収量比数	0.80±0.19	0.84±0.16	0.86±0.15	0.81±0.16	0.91±0.11	0.61±0.16	0.53±0.21	-	-	

注1) 立地環境の数値は植生資料数を, その他の数値は各植生型における平均値と標準偏差を示す

注2) 林齢は始良地域森林計画書(鹿児島県, 2016)による

となる人工林の林分構造を把握した上で, 人工林の造林木や林内の前生樹をどのように処理あるいは活用していくべきか, 目標とする針広混交林等の林分構造と比較しながらその施業方法を検討する必要がある。そこで, 人工林の各植生型とその目標林型として設定された針広混交林の各植生型から調査地点を1箇所選び, 20×20 mの方形区内に出現するDBH 5 cm以上の高木種を対象にDBHを計測して得られた林分構造についても, 各植生型における針広混交林化に向けた施業方法の検討材料とした。なお, 調査対象地域ではシイ属(*Castanopsis*)のスタジイ(*C. sieboldii*)とコジイ(*C. cuspidata*)の両種が分布しており(迫・西井田, 1990), 調査の際は両種を樹皮の形状や葉の厚さなどを視覚や触感で識別して記録したが, 両者は連続的に変異するため識別が困難(山田, 2006)とされていることから, 表操作では両種を一つの分類群(以下「シイノキ」)として扱った。

Ⅲ. 結果

人工林で73個(スギ・ヒノキの混交林1林分を含む), 針広混交林で17個(スギ・ヒノキの混交林1林分を含む), 自然林で16個の計106個の植生資料を表操作した結果, 4種群によって人工林が5植生型に, 針広混交林と自然林がそれぞれ2植生型に区分された。結果を表-1に示す。人工林(I)のナチシダ型(I-A)は種群1のナチシダやオオバチドメなどの好湿性草本類を伴い, 種群2のヒサカキやネズミモチなどの常緑低木類を伴わないことで特徴づけられ, 種群3や種群4のクスノキ科高木やブ

ナ科高木といった常緑高木の種群も伴わないナチシダ亜型(I-A-a)と, 種群3のクスノキ科高木だけを伴うシロダモ亜型(I-A-b)に下位区分された。クスノキ科型(I-B)はナチシダ型(I-A)とは対照的に種群1を伴わず, 種群2や種群3といった種子被食散布型の樹木で構成される種群を伴うことで特徴づけられた。同じく人工林のシイ・カシ型(I-C)は, クスノキ科型(I-B)に種群4のアラカシやシイノキなどの種子重力散布型のブナ科高木が加わった植生型であり, ブナ科高木の構成によってアラカシ亜型(I-C-a)とシイノキ亜型(I-C-b)に下位区分された。針広混交林(II)は種群1を伴う夏緑広葉樹型(II-A)と, 種群1は伴わず, 種群2~4の常緑広葉樹を伴うシイ・カシ型(II-B)に区分された。自然林(III)は, 針広混交林と同じ種群構成によって夏緑広葉樹林(III-A)とシイ・カシ林(III-B)に区分された。

表-2は各植生型における立地環境や階層構造, 造林木の形状を示したものである。立地環境では, ナチシダ型(I-A)の植生資料28個のうち18個(64%)が水田跡地, 21個(75%)が谷底面に位置し, さらに類似した種群構成の夏緑広葉樹型(II-A)や夏緑広葉樹林(III-A)を含めると, 水田跡地の全資料26個のうち23個(88%)がこの3植生型に含まれていた。また, これら3植生型の資料36個のうち24個(67%)が谷底面に位置していた。一方, 人工林のクスノキ科型(I-B)とシイ・カシ型(I-C), 針広混交林のシイ・カシ型(II-B), 自然林のシイ・カシ林(III-B)の資料70個のうち, 67個(96%)は自然地形に, 53個(76%)は斜面下部域に位置していた。人工

表-3. 各植生型における階層別平均被度の上位種

植生型	スギ人工林 (I)					針広混交林 (II)		自然林 (III)	
	ナチシダ型 (I-A)		クスノキ科型 (I-B)	シイ・カシ型 (I-C)		夏緑広葉樹型 (II-A)	シイ・カシ型 (II-B)	夏緑広葉樹林 (III-A)	シイ・カシ林 (III-B)
	ナチシダ亜型 (I-A-a)	シロダモ亜型 (I-A-b)		アラカシ亜型 (I-C-a)	シイノキ亜型 (I-C-b)				
高木層	スギ (55.5)	スギ (54.2)	スギ (67.2)	スギ (64.4)	スギ (70.3)	スギ (29.5)	スギ (34.4)	エノキ (5.8)	アラカシ (28.8)
	クスギ (2.3)	テイカカ (0.8)	テイカカ (0.3)	テイカカ (2.5)	ヤマフジ (2.3)	クスノキ (8.5)	イチイガシ (10.0)	エゴノキ (5.8)	シイノキ (22.9)
		ツタ (0.4)		ツタ (0.4)	テイカカ (0.9)	エノキ (7.5)	シイノキ (7.5)	トキワガキ (5.8)	イチイガシ (11.3)
					ツツラフジ (0.3)	クスギ (7.5)	アラカシ (6.5)	シロダモ (5.8)	ヤマフジ (4.8)
亜高木層	スギ (2.7)	シロダモ (3.3)	イヌビワ (5.6)	バリバリ (6.0)	シイノキ (4.4)	スギ (3.5)	アラカシ (6.3)	シロダモ (11.7)	アラカシ (11.3)
	イヌビワ (1.1)	バリバリ (2.9)	シロダモ (3.6)	アラカシ (5.6)	バリバリ (4.4)	シロダモ (3.5)	イチイガシ (4.8)	バリバリ (7.5)	ヤマビワ (6.3)
	アオギリ (0.3)	エゴノキ (1.5)	ホソバタブ (2.8)	ウスギモ (2.9)	アラカシ (4.2)	チシャノキ (3.5)	チシャノキ (2.9)	エノキ (7.5)	イチイガシ (3.5)
	クスギ (0.3)	イワガラミ (0.4)	バリバリ (2.5)	ホソバタブ (2.1)	イチイガシ (4.1)	バリバリ (3.5)	シロダモ (2.7)	イヌビワ (5.8)	ミズバイ (3.5)
低木層	ムクロジ (1.7)	シロダモ (5.0)	イヌビワ (4.8)	イヌビワ (8.7)	イヌビワ (5.8)	イヌビワ (10.5)	ヤブツバキ (6.3)	チャノキ (14.2)	アオキ (4.1)
	ミズバイ (0.6)	ムクロジ (2.3)	シロダモ (4.7)	アラカシ (4.6)	ヤマビワ (4.4)	ウリノキ (7.5)	ヒサカキ (6.3)	イヌビワ (5.8)	アラカシ (3.7)
	イヌマキ (0.6)	バリバリ (2.1)	アオキ (4.4)	イヌガシ (3.7)	シロダモ (4.2)	アオキ (4.5)	イヌビワ (5.6)	メダケ (5.8)	ヒサカキ (3.7)
	エゴノキ (0.3)	イヌガシ (1.3)	イヌガシ (4.1)	ヒサカキ (3.7)	アラカシ (3.0)	ハマクサギ (3.5)	ミズバイ (5.2)	ホソバタブ (1.7)	ヤブツバキ (3.5)
草本層	ムクノキ (0.3)	イワガネ (1.3)	ウリノキ (3.8)	ミズバイ (3.7)	ヤブツバキ (2.7)	ムラサキシ (3.5)	アオキ (3.3)	イヌガシ (1.7)	イヌビワ (2.5)
	ナチシダ (28.3)	シロヤマ (15.0)	カツモウイ (12.4)	カツモウイ (13.7)	イズセンリ (7.4)	イズセンリ (8.6)	オオイワヒ (5.7)	ナチシダ (29.2)	クリハラン (1.7)
	ホウロクイ (7.8)	オオイワヒ (10.9)	イズセンリ (4.4)	ホウロクイ (9.6)	コバノカナ (4.1)	チヂミザサ (7.5)	イズセンリ (5.2)	イズセンリ (12.5)	ホルトノキ (1.3)
	ナガバヤブ (6.3)	サワアジサイ (7.3)	オオイワヒ (3.5)	オオイワヒ (4.4)	ミヤマノコ (3.3)	カツモウイ (5.5)	クリハラン (4.0)	シロヤマ (5.8)	イズセンリ (1.2)

注) () は各植生型における出現種の平均被度 (%)。種名の省略は次のとおり。テイカカ：テイカカズラ、カラスザン：カラスザンショウ、バリバリ：バリバリノキ、ウスギモ：ウスギモクセイ、ムラサキシ：ムラサキシキブ、ホウロクイ：ホウロクイチゴ、ナガバヤブ：ナガバヤブマオ、シロヤマ：シロヤマシダ、オオイワヒ：オオイワヒトデ、イズセンリ：イズセンリヨウ、カツモウイ：カツモウイノデ、コバノカナ：コバノカナワラビ、ミヤマノコ：ミヤマノコギリシダ

林における各階層の平均植被率をみると、ナチシダ型 (I-A) は亜高木層や低木層で4~13%と他の植生型よりも低くなっていたが、草本層では62~73%と他の植生型よりも高くなっており、他の植生型と比較して植被率が中間層で低く、下層で高い傾向を示した。造林木の平均密度は、人工林の7.3~10.1本/100㎡に対し、針広混交林では3.7~5.0本/100㎡とおおよそ半分まで低下し、造林木の取量比数でも人工林の0.8~0.9に対し、針広混交林では0.5~0.6まで低下するなど、人工林と針広混交林とで明らかな違いがみられた。また、針広混交林のシイ・カシ型 (II-B) 以外の造林木の形状比は全て気象害に対して危険な80以上 (藤森, 2006) を示し、なかでもナチシダ亜型 (I-A-a) は97と最も高かった。

表-3は出現種の階層別優占度 (+, 1, 2, 3, 4, 5) を被度の中央値 (0.1%, 5.0%, 17.5%, 32.5%, 67.5%, 82.5%) に換算して算出した各植生型における階層別平均被度の上位5種 (草本層は上位3種) である。人工林の亜高木層と低木層では、ナチシダ亜型 (I-A-a) を除くとシロダモやバリバリノキといった種群3のクスノキ科高木がよく上位種に入っていた。これら種群3の樹種は針広混交林や自然林の亜高木層や高木層でも上位種となっていたが、その平均被度は種群として林分を優占するほど高くなかった。クスノキ科高木以外では、エノキやムクノキ、ムクロジやエゴノキなどの夏緑広葉樹が人工林のナチシダ型 (I-A) と針広混交林の夏緑広葉樹型 (II-A)、自然林の夏緑広葉樹林 (III-A) の平均被度上位種に入っていたが、これとは対照的に、アラカシやイチイガシ、シイノキといった種群4のブナ科高木は人工林のシイ・カシ型 (I-C) や針広混交林のシイ・カシ型 (II-B)、自然林のシイ・カシ林 (III-B) に限って平均被度上位種に入っていた。また、草本層ではいずれの植生型もシダ

類の平均被度が最も高く、なかでも人工林のナチシダ亜型 (I-A-a) と自然林の夏緑広葉樹林 (III-A) では、シカの不着好性植物であるナチシダの平均被度が29%程度と他の出現種よりもかなり高くなっていた。

図-1は各植生型の調査地点における高木種のDBH階分布を示したものである。人工林のナチシダ亜型 (I-A-a) では林内に前生樹としての広葉樹はみられず、DBH 5 cm以上の立木は造林木のスギだけであった。スギは33本中28本 (85%) が20~30 cm階に分布していたが、40~50 cm階にも3本 (9%) 分布していた。20~30 cm階のスギ3本の測定値を用いて算出した平均形状比は85と高かったが、50 cm階のものは58とかなり低く、生育不良で気象害に弱い多くの劣勢木の中にごく少数の生育が良好で健全な優勢木が存在するなど、造林木径級の優劣が顕在化する傾向がみられた。クスノキ科型 (I-B) では造林木のスギが40 cm階を中心にまとまって分布し、前生樹としての広葉樹はクスノキ科高木とその他高木 (ムクノキ) が5 cm階にまとまって分布していた。シイノキ亜型 (I-C-b) では、スギ・ヒノキの造林木が10~50 cm階までの幅広い径級に分散し、種群4のブナ科高木種は5 cm階で多数出現していた。また、10 cm階では造林木と広葉樹のDBH階分布が重なり、造林木に枯損が生じていた。針広混交林の夏緑広葉樹型 (II-A) では、造林木の径級幅は10 cm階から50 cm階まで幅広いが、そのピークは径級の小さい20 cm階にあり、径級が大きくなるにつれて個体数が減少し、最も大きな50 cm階で再び個体数が増加するなど、その傾向は人工林のナチシダ亜型 (I-A-a) と類似していた。また、広葉樹ではクスノキ科高木が50 cm階に1本 (種群3に属さないクスノキ)、40 cm階にエノキが1本出現したのみで、広葉樹が少ない点もナチシダ型 (I-A) と類似していた。針広混交林

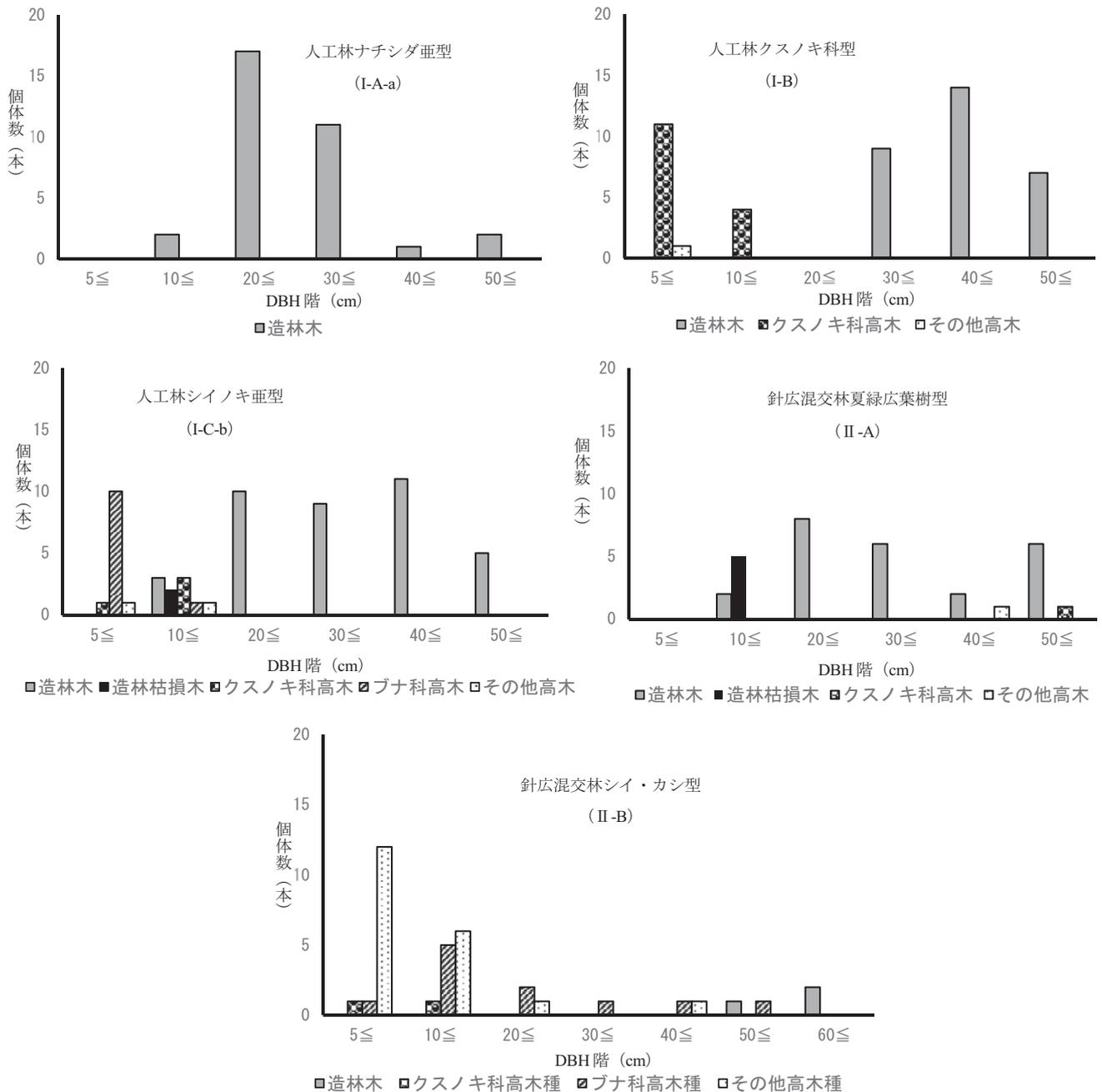


図-1. 各植生型における高木種の DBH 階分布

のシイ・カシ型 (II-B) では、造林木は 50 cm 階と 60 cm 階に 3 本あるのみであり、ブナ科高木は 20 cm 階から 50 cm 階までほぼ均等に分布し、10 cm 階では個体数が増加するなど、L 字型分布を示していた。また、5 cm 階と 10 cm 階に多数出現したその他高木 18 個体のうち、11 個体 (61%) はヤブツバキであった。

IV. 考察

佐藤・中田 (2008) によれば、放棄棚田では土壌含水率が高くなるほど樹木密度は低下する傾向にあり、棚田の微地形による土壌含水率の違いが樹木の生育に強く影響を及ぼすという。人工林

のナチシダ型 (I-A) は水田跡地に成立しているものが多く、種群 2 の常緑低木類や種群 3, 4 の常緑高木の林内における出現頻度が低く、低木層や亜高木層の植被率も他の植生型よりも低かった。また、下位区分のナチシダ亜型 (I-A-a) ではごく少数の造林木を除いたほとんどの造林木が生育不良となっており、径級分布の優劣が顕在化していた。このようなナチシダ型 (I-A) でみられるような前生樹となるべき木本類の少なさと造林木の生育状況のばらつきは、佐藤・中田 (2008) が指摘した土壌含水率の高さやそのばらつきによるものと推察される。松岡・佐野 (2003) は河畔林の形成過程において、エノキやムクノキは河川氾濫による攪乱後に他の樹種に先駆けて侵入し、その後シロ

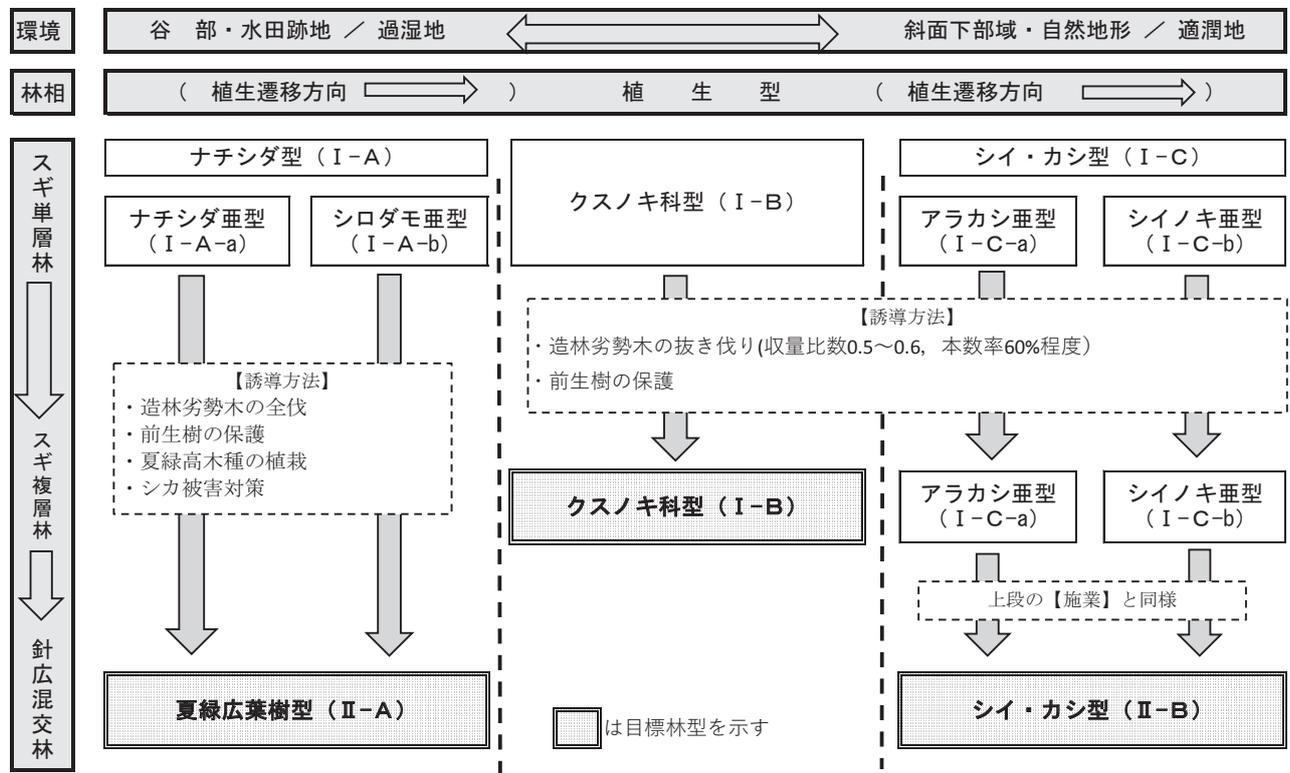


図-2. 斜面下部域や谷底面におけるスギ人工林の植生型と目標林型への誘導方法

ダモやヤブニッケイが侵入することで、低木層や亜高木層にシロダモやヤブニッケイを含むエノキ・ムクノキ林が形成されるとしている。エノキは針広混交林夏緑広葉樹型 (II-A) の高木層と自然林である夏緑広葉樹林 (III-A) の高木層と亜高木層の平均被度上位種であり、ムクノキは針広混交林夏緑広葉樹型 (II-A) の亜高木層や人工林ナチシダ型 (I-A) の下位区分であるナチシダ亜型 (I-A-a) の低木層における平均被度上位種であること、ナチシダ型 (I-A) ではシロダモを含む種群3のクスノキ科高木の有無で下位区分されたことなどは、これら人工林のナチシダ型 (I-A) と針広混交林の夏緑広葉樹型 (II-A)、自然林の夏緑広葉樹林 (III-A) の3植生型が河畔林の要素を持ち合わせていること、人工林ナチシダ型 (I-A) のシロダモ亜型 (I-A-b) はナチシダ亜型 (I-A-a) よりも遷移が進んだ状態であることを示唆するものといえる。さらに、ナチシダ型 (I-A) の草本層ではシカの不嗜好性植物であるナチシダの出現頻度が高くなっており (表-1)、特にナチシダ亜型 (I-A-a) の草本層ではナチシダの平均被度が他の出現種よりもかなり高く、同じ下位区分のシロダモ亜型 (I-A-b) の低木層でもシロダモやバリバリノキ、イヌガシといったシカの不嗜好性植物 (小南ほか, 2001) が平均被度上位種となっていたことから (表-3)、ナチシダ型 (I-A) ではシカの採食圧に十分注意すべきであると考えられた。

クスノキ科型 (I-B) とシイ・カシ型 (I-C) のほとんどは自然地形に成立しており、収量比数は0.81~0.91と人工林の密度管理基準である0.70 (鹿児島県林務水産部, 2006) を大きく上回り、造林木の形状比も89~96と大きかった。また、径級分

布ではナチシダ亜型 (I-A-a) のように優劣が顕在化する傾向はみられなかったものの、クスノキ科型 (I-B) では40 cm階を中心とした幅の狭い山型、シイノキ亜型 (I-C-b) では10 cm階から50 cm階までの幅の広いなだらかな山型を示した。スギ・ヒノキ人工林では、植栽密度が高いと樹高生長よりも肥大生長が大きく抑制されて形状比が大きくなる (日本森林学会, 2021) ことから、これら2植生型における造林木の生育不良は、ナチシダ型 (I-A) のような立地環境によるものではなく、間伐等の密度管理不足によるものであり、その密度管理の程度によって径級幅に差が生じたものと推察された。また、クスノキ科型 (I-B) はナチシダ型 (I-A) に種群2や種群3の常緑低木類や常緑高木の種群が加わるが、これらの樹種はいずれも種子被食散布型であった。一方、シイ・カシ型 (I-C) を特徴づける種群4のブナ科高木は重力散布型の遷移後期種であることから、クスノキ科型 (I-B) は遷移系列上ではナチシダ型 (I-A) とシイ・カシ型 (I-C) の間に位置し、シイ・カシ型 (I-C) は人工林の中では最も遷移が進んだ植生型であることが推察された。

人工林を針広混交林化することは、本来の自然生態系に倣って針葉樹人工林を多様な種で構成される混交林に戻そうとするものであることから (清和, 2010)、目標林型とする林分は、その地域の自然植生に近い種組成であることが望ましい。人工林のナチシダ型 (I-A) と針広混交林の夏緑広葉樹型 (II-A)、自然林の夏緑広葉樹林 (III-A) は谷底面や水田跡地に成立したものが多く、種群組成も類似し、エノキやエゴノキ、ムクロジやムクノキといった夏緑高木が平均被度上位種に入る (表-3) など共通性が高かった。このため、人工林ナチシダ型 (I-A) の目標林

型として針広混交林の夏緑広葉樹型 (II-A) を設定することは、自然林の夏緑広葉樹林 (III-A) の種組成に近づけることであり、清和 (2010) の考えと一致する。一方、ケヤキ、エノキ、ムクノキといった溪畔種と呼ばれる夏緑広葉樹が出現する溪畔林は一般斜面の常緑広葉樹が生育する森林とは異なり、様々な機能を果たすべき生態系であることから (伊藤, 2019)、国有林では生物多様性の観点から、溪流沿いの人工林で溪畔林を想定した施業を推進している (林野庁, 2021)。このため、ナチシダ型 (I-A) や夏緑広葉樹型 (II-A) についても、生物多様性の観点から自然度の高い夏緑広葉樹主体の溪畔林への誘導を検討すべきかもしれない。しかしながら、ナチシダ型 (I-A) や夏緑広葉樹型 (II-A) の多くは人為的攪乱を受けた水田跡地という立地条件下に成立しており、自然の立地条件下で流水等の自然的攪乱を受けながら維持されている溪畔林とは植生や林分構造を決定づける環境要因が異なるものと推察される。さらに、溪畔林が成立するような立地では、土砂流出を防備する観点などから森林が存在していることがなにより重要であり (佐藤, 2021)、山地災害防止機能の発揮には樹木の樹冠や根系、下層植生の発達が必要とされている (林野庁, 2014)。このため、人工林のナチシダ型 (I-A) では、生物多様性等の様々な機能を有した夏緑広葉樹主体の溪畔林を目標林型とするよりも、まずは山地災害防止機能の発揮を主眼に置き、樹冠や根系の発達が望めない造林木の劣勢木を除去するとともに、下層のムクロジやエゴノキ、ムクノキなどの谷底面や水田跡地といった立地条件に適した夏緑広葉樹の生長と樹冠や根系の発達を促すことで、種組成は人工林とほぼ同じではあっても、上層に樹冠が発達した夏緑広葉樹が混在し、下層の植生がより発達した状態である針広混交林の夏緑広葉樹型 (II-A) を目標林型とすべきであると考えられた。

針広混交林の2つの植生型について、シイ・カシ型 (II-B) は自然林のシイ・カシ林 (III-B) と種群構成が一致しており (表-1)、高木層や亜高木層には調査地域の自然植生であるルリミノキやイチイガシ群集 (宮脇, 1981) の林冠構成種であるイチイガシやシイノキが平均被度上位種となっていたことなどから、針広混交林のシイ・カシ型 (II-B) は本来の自然林に近い種組成であり、目標林型とすることに問題はなと考えられる。一方、人工林のシイノキ型 (I-C-b) は針広混交林のシイ・カシ型 (II-B) と同じ種群構成であり、亜高木層ではシイノキやイチイガシが平均被度上位種となり、同じシイ・カシ型 (I-C) の下位区分であるアラカシ型 (I-C-a) でもシイノキやイチイガシを欠くものの、ブナ科高木のアラカシが亜高木層の平均被度上位種となっていた。これらのことから、人工林のシイ・カシ型 (I-C) は針広混交林のシイ・カシ型 (II-B) を目標林型として誘導していくべきであると考えられた。一方、人工林のクスノキ科型 (I-B) については、種群4のブナ科高木の定着が確実ならば、シイ・カシ型 (II-B) を目標林型として設定できるが、ブナ科高木の種子は重力散布型であり、その散布距離は森林性ネズミによる二次散布も含めて母樹から20 m程度であることから (山川ほか, 2010)、天然下種更新によるシイ・カシ型 (I-C) への移行はあまり期待できない。また、ブナ科高木の植栽は苗木の移動による遺伝子攪乱の懸念があり (津村・陶山, 2015)、植栽経費やその後のシカなどによる採食防止対策を含めた管理費な

どを考えると、ブナ科高木の植栽によるシイ・カシ型 (I-C) への誘導は現実的ではない。さらに、齊藤ほか (2004) はスギと広葉樹の混交林と約40年生のスギ人工林の林分構造を比較し、混交林では林冠層の広葉樹はカシ類が優占し、亜高木層はツバキ科・クスノキ科樹種が優占するが、スギ人工林ではカシ類やシイノキなどの主要高木種を欠くとともに、亜高木層に定着した樹種の多くは鳥散布型であったことから、スギ人工林では植栽などに拠らなくても亜高木種の定着は容易であるとしている。本研究においても、被食散布型である種群3のクスノキ科高木は自然林や針広混交林の林冠を優占することはなかったが、亜高木層や低木層では平均被度上位種によく入り (表-3)、クスノキ科型 (I-B) の林内ではブナ科高木はみられず、クスノキ科高木がよく出現していた (図-1)。このようなことから、クスノキ科型 (I-B) は種群4のブナ科高木を伴った針広混交林へ誘導するよりも、まずは適正な施業によってその植生型のまま林分構造の発達した複層林へと誘導すべきであると考えられた。

図-2はスギ人工林の各植生型の立地条件や遷移系列上における位置づけや目標林型に誘導するための施業方法、それに伴う林相の変化を示したものである。ナチシダ型 (I-A) では造林木の生長で優劣が顕在化する傾向がみられ、劣勢木の多くは気象災害に弱い不良木であった。伊藤 (2019) は溪畔域に植栽されたスギについて、間伐遅れ等で形状比が大きく樹冠長率が低い場合は、間伐しても生長が見込めないばかりか、風倒や崩壊、ひいては流木災害の原因になりかねないことから、災害リスクを軽減するためにスギの全伐とその後の適切な更新が選択されるべきだとしている。ナチシダ型 (I-A) でみられた劣勢木は、高い土壌含水率といった水田跡地特有の立地環境によるものと推察されたことから、施業によって造林木の生育や形状が改善されるとは考えにくい。さらに伊藤 (2019) が指摘するように、これら劣勢木は災害発生時に流木となって二次災害を引き起こす懸念もあることから、劣勢木は全て伐採する方向で検討すべきであろう。伐採に際しては林内の前生樹を傷付けないように配慮することは当然であるが、ナチシダ亜型 (I-A-a) のように特に前生樹が少ない場合は、夏緑高木種の植栽による針広混交林化も検討する必要がある。片野田・畠中 (2020) は斜面下部域や谷底面に適した植栽樹種としてムクロジを選定しているが、本研究でもムクロジはナチシダ亜型 (I-A-a) での出現頻度が他の高木樹種よりも高く (表-1)、その適性を裏付けていた。また、ナチシダ型 (I-A) ではシカの採食被害が懸念されることから、前生樹や植栽木に対するシカ採食防止対策も必要である。シカ侵入防止柵を設置すれば、高木層や亜高木層を構成する樹木の定着や生長が促進されるとともに、ナチシダ等のシカ不嗜好性植物の優占度も低くなり、溪畔域特有の植物が定着しやすくなって生物多様性の向上にもつながると考えられるが、森林経営管理制度で求められているのは管理コストの低い針広混交林等への誘導であるため (佐藤, 2021)、多大な経費のかかる柵の設置はなじまない。ツリーシェルター等で必要最小限の前生樹や植栽木を単木的に保護する方法が簡易で経費も調整しやすいと考えられるが、シカ不嗜好性夏緑高木種の検索など、ツリーシェルター以外の簡易な方法についても今後検討する必要がある。

クスノキ科型 (I-B) とシイ・カシ型 (I-C) については、

造林木の優劣がはっきりしなかったことから、前生樹の生育を促進するために造林木をどの程度抜き伐りするかが課題となる。スギ人工林における抜き伐りと広葉樹の生長との関係を調査した事例（秋田県農林水産部森林整備課，2013）では、広葉樹の生存と生長を最低限確保するための収量比数は0.5～0.6程度が有効としている。また、三重県の調査事例（島田・野々田，2010）では、林内の前生樹の生育を促進させるための抜き伐りでは本数率で55%は必要であるとしている。今回、人工林のクスノキ科型（I-B）とシイ・カシ型（I-C）の収量比数が0.8～0.9、密度が7.3～10.1本/100㎡であり、目標林型である針広混交林のシイ・カシ型（II-B）の収量比数が0.5、密度が3.7本/100㎡であったことと、これまでの他県での調査事例とを考えると、収量比数では0.5～0.6程度、密度では50～60%を目安に抜き伐りを行って林床の広葉樹の生長を促し、まずは人工林の植生型のまま階層構造の発達した複層林への誘導を目指すとともに、シイ・カシ型（I-C）ではスギ樹冠の被覆状況に応じて抜き伐りを繰り返すことで針広混交林のシイ・カシ型（I-C）へ誘導すべきであると考えられた。抜き伐りの選木基準について、新田・金子（2017）は光合成器官である葉量や樹冠サイズを反映しているDBHが最も簡易な選木指標の一つとなるとし、さらに根張りは土壌緊縛力にも影響していることから、根張りの良い個体を残すことが山地災害の防止機能等の発揮という面からも有効であるとしている。また、藤森（2013）は長い間放置された人工林でも個体差が必ずついており、その中からある程度バイタリティのある木を選ぶことで森林の生命力を取り戻すことができるとしている。人工林のクスノキ科型（I-B）とシイ・カシ型（I-C）の造林木形状比は89～96以上と気象災害に弱い状態であったが、DBH階分布ではクスノキ科型（I-B）で20cm程度、シイ・カシ型（I-C）で40cm程度の分布幅があり、現地調査では樹高がほぼ同じでもDBHが大きく、根張りの良い個体も存在していた。このため、抜き伐りはDBHの小さな個体を中心に選木するが、今後は造林木の根張りやバイタリティも考慮した選木方法も検討すべきであろう。

針広混交林化の対象となる人工林は、これまでの管理状況や立地環境、シカの採食圧等によって造林木や前生樹の生育状況等が千差万別であり、施業後は多種多様な樹種が様々な環境の変化に対応しながら競合し合って森林を形成していくため、管理された人工林とは異なり、施業後の人工林がどのような森林にどれだけの年数を経て変化していくのか、予測しにくいところがある。このような不確実性のある森林の動きに対応するため、施業後は必ず短期的（5～10年以内）または中・長期的（20～50年以上）な確認作業を行い、森林の動きに順応した施業の手直しをすることが重要とされている（森林総合研究所，2012）。さらに、図-2に示した施業方法は人工林と目標林型の林分構造の比較等によって導き出されたものであることから、今後は実際の施業による森林の変化を調査していくことで、きめ細かな施業方法を策定していく必要があると考えている。このため、まずは図-2のフロー図を基に市町村や県の行政機関と試験研究機関が連携しながら、現場の林況に対応した施業方法を計画・実行するとともに、施業後は短期的あるいは中・長期的な視点によって施業効果の検証と修正・実行を繰り返す順応的管理手法（森林総合研究所，2012）

を取り入れ、短期的には造林木の収量比数や伐採率に対する植栽木や前生樹の生長、林内植生の変化等との関係、中・長期的には前生樹が林冠を構成し、針広混交林に移行するまでの林相の変化等のデータを蓄積・分析することにより、施業方法等の改善や目標林型に到達するまでの必要年数の推定等を行っていききたい。さらに、本研究では生活型や種子散布型によって特徴づけられた種群によって植生型が区分されたが、地域によって構成種は異なるものの、鹿児島県内の他市町村においても同じ特徴の種群によって人工林の植生型や目標林型が設定できるのかもしれない。今後は鹿児島県内各地での調査も実施し、種群構成や植生型を確認しながら、鹿児島県全域で使えるような針広混交林化のマニュアルを作成したい。

引用文献

- 秋田県農林水産部森林整備課（2013）針広混交林化誘導技術マニュアル，33 pp
- 藤森隆郎（2006）森林生態学 持続可能な管理の基礎，480 pp，全国林業改良普及協会，東京
- 藤森隆郎（2013）将来木施業と径級管理－その方法と効果，220 pp，全国林業改良普及協会，東京
- 橋本佳延・藤木大介（2014）人と自然 25：133-160
- 畠中雅之・片野田逸朗（2020）九州森林研究 73：135-138
- 伊藤 哲（2019）宮崎県治山林道協会 平成30年度教育・学術研究助成，1-23
- 鹿児島県（2016）始良地域森林計画書
- 鹿児島県林務水産部（2006）鹿児島県育林技術指針，16 pp
- 柿澤宏昭（2004）林業経済研究 50：3-14
- 片野田逸朗・畠中雅之（2020）九州森林研究 73：39-45
- 小南陽亮ほか（2001）日林九支研論集 54：85-88
- 今 博計（2010）森林科学 59：17-21
- 松岡 淳・佐野淳之（2003）植生学会誌 20：119-128
- 宮脇 昭（編）（1981）日本植生誌九州，484 pp，至分堂，東京
- 日本森林学会（2021）森林学の百科事典，659 pp，丸善出版，東京
- 新田響平・金子智紀（2017）秋田県林業研七研究報告 24：1-13
- 大橋広好ほか（2017）改訂新版日本の野生植物（全5巻），平凡社，東京
- 大石卓史ほか（2018）林業経済研究 64（2）：1-11
- 大阪府立環境農林水産総合研究所生物多様性センター（2020）大阪府広葉樹林化技術マニュアル，26 pp
- 林野庁（2014）森林・林業白書平成26年度版，p 13
- 林野庁（2020）森林環境譲与税の取組事例集，1-126
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/kankyousei/torikumizyoukyou.html>（2021年8月20日利用）
- 林野庁（2021）林政審議会資料（抜粋），67-73
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/plan/index.html>（2021年8月20日利用）
- 齊藤 哲ほか（2004）九州森林研究 57：83-86
- 迫 静男・西井田光広（1990）鹿児島大学農学部演習林報告 18：125
- 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，

- 173 pp, 全国林業改良普及協会, 東京
- 佐藤輝明・中田 誠 (2008) 日林誌 90 : 364 - 371
- 生態学実習懇談会 (1967) 生態学実習書, 336 pp, 朝倉書店, 東京
- 清和研二 (2010) 森林科学 59 : 3 - 8
- 島田博匡・野々田稔郎 (2010) 森林科学 59 : 13 - 16
- 森林総合研究所 (2010) 広葉樹林化ハンドブック 2010 - 人工林を
広葉樹林へと誘導するために -, 36 pp, 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 - 人工林
を
広葉樹林へと誘導するために -, 48 pp, 森林総合研究所
- 鈴木兵二ほか (1985) 植物調査法Ⅱ - 植物社会学的研究法 -, 生
態学研究法講座 3, 199 pp, 共立出版, 東京
- 田村俊和 (1987) ペドロジスト 31 (2) : 135 - 146
- 田内裕之 (2010) 森林科学 59 : 2
- 津村義彦・陶山佳久 (2015) 地図でわかる樹木の種苗移動ガイド
ライン, 170 pp, 文一総合出版, 東京
- 山梨県森林総合研究所 (2016) 山梨県における針葉樹人工林の針
広混交林・広葉樹林化事例集, 22 pp
- 山田浩雄 (2006) 森林科学 46 : 43 - 47
- 山川博美ほか (2010) 日林誌 92 : 157 - 161
(2021年11月11日受付; 2022年1月6日受理)