論文

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^{*,1,5}・猪上信義²・野田 亮²・山田康裕³・佐保公隆³・高宮立身³
横尾謙一郎^{4,9}・小南陽亮^{1,6}・永松 大^{1,7}・佐藤 保^{1,8}・梶本卓也¹

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：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 日林誌 88：482~488 2006

九州の針葉樹人工林 ($n=59$)、皆伐地 ($n=41$) を対象に、定着した樹木の本数を調査し、定着本数密度の簡易な予測モデルを提示した。人工林、皆伐地の全種の定着密度は、対照として調査した広葉樹天然林と比べ低かった。とくにブナ科高木種などの林冠優占種の定着は困難であることがわかった。数量化Ⅰ類による定着密度予測モデルの決定係数は、人工林、皆伐地とも、全種の場合に比べ、明るいところを成育適地とする陽性高木種に区分した方が高かった。定着密度に大きく影響した要因は、人工林では傾斜角、皆伐地では標高と、両者で異なる点もみられたが、成立後の年数（林齢、皆伐後経過年数）が最も大きい点は共通していた。本研究では、光環境に対する樹種特性を反映させた種群でまとめることにより、標高や林齢など地理情報や森林簿から容易に得られる情報から定着密度を比較的高い精度で予測することができた。

キーワード：針広混交林、数量化Ⅰ類、陽性高木種、予測モデル、林冠優占種

Saito, S., Inoue, N., Noda, R., Yamada, Y., Saho, K., Takamiya, T., Yokoo, K., Kominami, Y., Nagamatsu, D., Sato, T., and Kajimoto, T.: **Tree Densities and Prediction Models for Plantations and Reforestation-abandoned Sites after Clear Cutting in Kyushu Island, Japan.** J. Jpn. For. Soc. 88: 482~488, 2006 We analyzed the species and densities of established tree with height ≥ 1.3 m in 59 conifer plantations and 41 reforestation-abandoned sites after clear cutting (*i.e.* clear-cut sites) on Kyushu Island. Natural or secondary broad-leaved forests (*i.e.* broad-leaved forests, $n=17$) were also investigated for the purpose of comparison. Based on these field data, we developed prediction models for tree establishment. Mean densities of trees established in both plantations and clear-cut sites were lower than in broad-leaved forests, especially for species dominating the canopy layer of natural forests, such as Fagaceae. The coefficients of determination of the prediction models were larger for a group of pioneer tree species than for all pooled species in both plantations and clear-cut sites. Major factors affecting tree establishment were different between the plantations (slope inclination) and the clear-cut sites (altitude and slope direction), although stand age (including years after clear-cutting) affected tree establishment most in both sites. Basic site information (*e.g.* altitude) and stand description data (*e.g.* stand age) were useful for the prediction. The accuracy of the prediction model was improved by grouping tree species with similar growth and/or regeneration characteristics.

Key words: mixed coniferous-broadleaved forests, pioneer tree species, prediction models, quantification method I, species dominating the canopy layer

I. はじめに

近年の木材価格の低迷や林業従事者の減少を背景に、手入りが十分行き届かない針葉樹人工林や、皆伐後再造林が

行われなままの土地が増加している（堺，2003）。これら管理不十分な人工林や皆伐後再造林未済地は九州地方の優良な木材生産適地においても多く発生しているため、将来にわたる木材生産の放棄が懸念されている（堺，2003；

* 連絡・別刷請求先 (Corresponding author) E-mail: stetsu@affrc.go.jp

¹ 森林総合研究所九州支所 (860-0862 熊本市黒髪 4-11-16)

Kyushu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, 4-11-16 Kurokami, Kumamoto 860-0862, Japan.

² 福岡県森林林業技術センター (839-0827 久留米市山本町豊田 1438-2)

Fukuoka Prefecture Forest Research and Extension Center, 1438-2 Toyota, Yamamoto-cho, Kurume 839-0827, Japan.

³ 大分県農林水産研究センター林業試験場 (877-1363 日田市大字有田字佐寺原)

Oita Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Research Center, Forestry Research Institute, Saterahara, Arita, Hita 877-1363, Japan.

⁴ 熊本県林業研究指導所 (860-0862 熊本市黒髪 8-222-2)

Kumamoto Prefecture Forestry Research Guidance Place, 8-222-2 Kurokami, Kumamoto 860-0862, Japan.

⁵ 現勤務先：森林総合研究所 (305-8687 つくば市松の里 1)

Present address: Forestry and Forest Products Research Institute, 1 Matsunosato, Tsukuba 305-8687, Japan.

⁶ 現勤務先：静岡大学教育学部 (422-8529 静岡市大谷 836)

Present address: Faculty of Education, Shizuoka University, 836 Ohya, Shizuoka 422-8529, Japan.

⁷ 現勤務先：鳥取大学地域学部 (680-8551 鳥取市湖山町南 4-101)

Present address: Faculty of Regional Sciences, Tottori University, 4-101 Kosanchominami, Tottori 680-8551, Japan.

⁸ 現勤務先：環境省地球環境局 (100-8975 東京都千代田区霞が関 1-2-2)

Present address: Global Environment Bureau, the Ministry of the Environment, 1-2-2 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8975, Japan.

⁹ 現勤務先：熊本県球磨地域振興局 (868-8503 人吉市西間下町 86-1)

Present address: Kumamoto Prefecture Kuma Regional Development Bureau, 86-1 Nishimashita-cho, Hitoyoshi 868-8503, Japan.

(2005 年 11 月 17 日受付；2006 年 5 月 9 日受理)

吉田, 2003)。また, 皆伐後再造林未済地は, 急傾斜地において発生しやすいため, 土壌流出など保全面での問題点も指摘されている (Noda and Hayashi, 2004)。

こうした人工林や皆伐後再造林未済地の管理指針の一つに, 針広混交林や広葉樹林への誘導が挙げられる (林野庁, 2005)。たとえば, 九州森林管理局では, 管内の国有林の 74% を公益林とし, そのうち人工林は針広混交林へ誘導することを目標としている (九州森林管理局, 2004)。針広混交林や広葉樹林を省力的に造成する場合, 天然更新を最大限に活用することが有効な手段といえる。そのためにはまず, 自然に樹木が定着するプロセス, およびそれに影響を及ぼす要因を解明することが必要である。とくに, 混交林や広葉樹林造成に利用できる樹種の現状での定着量を把握することが, 省力的な林分造成に向けた管理指針を策定するうえで重要である。

人工林に自然に定着する樹木に関しては, 落下種子の散布力・土中の寿命などの更新特性や, 植栽後の下刈や除草剤散布等の更新作業が大きく影響していることなどが報告されている (長谷川, 1991; 長谷川・平, 2000; 長谷川, 2005)。また, 定着樹木の密度は植栽木の胸高断面積合計と負の相関があり (正木ら, 2003), 下層の光環境も影響することが示唆されている。そのため, 樹種によっては定着にギャップ形成を必要とするものがあり, 人工林では天然林に比べて先駆的性格をもつ樹種の定着割合が高いという報告がある (Kodani, 1999; 小谷・高田, 2000; Kodani, 2001; Masaki *et al.*, 2004)。このように, 針葉樹人工林や皆伐後再造林未済地への樹木の定着には, 多岐にわたる要因が関与していると考えられる。

本研究では, 針葉樹人工林や皆伐後再造林未済地を針広混交林や広葉樹林に省力的に誘導することを前提に置き, 樹木の定着に関与する多くの要因のうち情報が得やすくかつ影響が大きい要因の抽出と, それに基づく樹木の定着密度の簡易な予測を目的とする。そのために, まず九州地方の針葉樹人工林や皆伐後再造林未済地において, 定着している樹木の本数を多点で調査した。つぎに比較的手続きしやすい標高や斜面方位など地理情報を中心に要因を選定し, 数量化Ⅰ類による樹木の定着密度の予測モデルを構築し, その精度について検討した。そして, 針葉樹人工林と皆伐後再造林未済地において樹木の定着に影響する要因の違いを比較した。

II. 方 法

調査は九州の 59 箇所の針葉樹人工林 (福岡県 1 箇所, 大分県 24 箇所, 熊本県 15 箇所, 宮崎県 19 箇所, 林種はスギ林 49 箇所, ヒノキ林 10 箇所, 以下単に人工林と称す), および 41 箇所の皆伐後再造林未済地 (福岡県 24 箇所, 大分県 1 箇所, 熊本県 9 箇所, 宮崎県 7 箇所, 以下, 皆伐地) で行った。林縁や特殊な地形を含むところを除き, 林分の標準的な植生となるよう留意しながら, 各調査地において方形区を一つ設定した。方形区の大きさは, 林

冠高が 10 m 未満のときは 10 m × 10 m, 10 m 以上 20 m 未満のときは 15 m × 15 m, 20 m 以上のときは 20 m × 20 m とした。地形などの条件により規定の方形区が設定できない箇所は, 適宜長方形や, 小さい方形区を設定した。まず調査地の傾斜, 斜面方位, シードソースとなりうる最寄りの天然林 (保残帯や広葉樹二次林も含む) の林縁から調査した方形区の端までの最短距離を 10 m 刻み (一の位切り捨て) で記録した。つぎに方形区内の植栽木と, それ以外の樹木の高木・亜高木種のうち樹高 1.3 m 以上の個体 (以降, 定着樹木と呼ぶ) すべての種名・個体数を記録した。なお同一株で高さ 1.3 m 以上の幹が 2 本以上あるものも 1 個体として数えた。人工林や皆伐地と比較するため, 同様の調査を広葉樹天然林 17 箇所 (福岡県 4 箇所, 大分県 4 箇所, 宮崎県 9 箇所, 以下, 広葉樹林) でも行った。これら広葉樹林の調査地は, 標高 335~1,210 m の範囲の保残帯や広葉樹二次林から選定した。

解析では, 定着樹木を生活型で高木種と亜高木種に分けた。さらに高木種の中から, 先駆性樹種など一般に明るいところを育成適地とする「陽性高木種」と, 九州の成熟した天然林の林冠で優占するブナ科高木種・イスノキ・タブノキ・モミ・ツガの「林冠優占種」を区分し, それぞれの定着密度を算出した。なお高木種, 亜高木種, 陽性高木種の区分は, 林業科学技術振興所 (1985) を基に付表-1 のように定義した。

定着密度の予測モデルは数量化Ⅰ類を用い, 全種ならびに四つの種群 (高木種, 陽性高木種, 林冠優占種, 亜高木種) を予測の対象とした。数量化Ⅰ類は, カテゴリーデータを用いた重回帰分析に相当する。予測値に影響する要因は, アイテム (重回帰分析の独立変数に相当) と呼ばれ, 各アイテム内はいくつかのカテゴリーに分けられる。カテゴリーごとに予測のためのスコアが割り振られ, 次式 (1) のように, その合計から予測値 y が得られる。

$$y = \sum_{i=1}^k b_i + c \quad (1)$$

ここで k はアイテム数, b_i は i 番目のアイテムの該当するカテゴリーのスコア, c は定数項を表す。各アイテム内のスコアの最大値と最小値の差 (レンジ) の大きいアイテムが予測値により大きな影響を及ぼす (応用統計ハンドブック編集委員会, 1978)。

一般に樹木の定着に影響すると考えられる要因のうち, 林分単位の情報と比較的手続きしやすいという観点から, 人工林の予測モデルには八つ, 皆伐地の予測モデルには五つのアイテムを選定した (表-1)。カテゴリーデータである斜面方位, 間伐の有無, 林種を除いたアイテム間の相関係数は, 0.7 を越える強い相関関係がみられた組み合わせはなかった (表-2)。一般に, 独立変数間で分散拡大要因 VIF_i ($VIF_i = 1/(1-r_i^2)$, r_i は変数 i とそれ以外の変数との重相関係数) が 10 を越える場合に多重共線性の問題が指摘されているが, 表-2 に示した変数間の VIF_i の最大値は 1.9 であった。各アイテムのカテゴリー数は 2~5 とし, 区

表-1. 予測モデルで用いたアイテムと調査地における値の範囲

人工林のアイテム	範囲	皆伐地のアイテム	範囲
標高 ¹⁾ (m)	140~1200	標高 ¹⁾ (m)	270~1480
傾斜角 (°)	2~45	傾斜角 (°)	2~40
斜面方位	E, W, S, N	斜面方位	E, W, S, N
林齢 ²⁾ (年)	12~70	皆伐後の経過年数 ²⁾ (年)	1~20
天然林からの距離 (m)	0~380	天然林からの距離 (m)	0~750
過去の間伐の有無	あり, なし		
植栽木の樹種 (林種)	スギ, ヒノキ		
植栽木の密度 (本/ha)	375~3511		

¹⁾ 地図から読取, ²⁾ 森林簿の記録, それ以外は現地調査の記録を使用。

分け幅は各カテゴリーに属する調査地数が極端に偏らないという点に注意しながら決定した。解析では, あるカテゴリーに属する場合を1, それ以外を0とおくダミー変数を作成し (応用統計ハンドブック編集委員会, 1978), 重回帰モデルにあてはめ各変数の回帰係数を算出した (Stat View ver. 5.0, (株) ヒューリンクス)。算出した回帰係数から, 各アイテム内で平均値が0となるようにカテゴリースコアと定数項を定めた。

多変量解析モデルでは, 予測精度を決めるうえで変数選択が重要となるため (Johnson and Omland, 2004), 本研究ではAICを用いて変数選択を行った (坂元ら, 1983)。まず, 数量化I類ですべてのアイテムを用いたモデル (モデルNo. 1) を求めた。以降, モデルNo. が一つ増えるごとに, 前のモデルでレンジの最も小さいアイテムを順次一つずつ除いていき, アイテムが一つになるまで (人工林ではモデルNo. 8, 皆伐地ではモデルNo. 5) くりかえし, AICが最小となるモデルを採択した。

III. 結 果

1. 定着樹木の本数密度の平均値

人工林, 皆伐地および広葉樹林の各種群の定着密度の平均値を表-3に示す。広葉樹林では全種で平均3,487本/haの定着樹木がみられたが, 人工林ではその約5分の1 (600本/ha) であった。さらに, 林冠優占種に限ると人工林 (32本/ha), 皆伐地 (162本/ha) でそれぞれ広葉樹林 (451本/ha) の10分の1以下, 半分以下であった。人工林 ($n=59$), 皆伐地 ($n=41$) で, 林冠優占種が全くみられなかった調査地はそれぞれ, 47箇所, 30箇所であった。

ある種群とそれ以外の樹種の定着本数の比率 (ある種群の全定着本数/それ以外の樹種の全定着本数) は, 人工林

表-2. 数量化I類による予測モデルにおける各アイテム間の相関係数

a) 人工林

	傾斜角	林齢	天然林からの距離	植栽木密度
標高	-0.090	-0.107	-0.555***	0.110
傾斜角		0.156	0.058	-0.042
林齢			0.105	-0.429**
天然林からの距離				-0.206

b) 皆伐地

	傾斜角	皆伐後経過年数	天然林からの距離
標高	-0.111	0.551**	-0.380
傾斜角		-0.099	0.050
皆伐後経過年数			-0.601***

カテゴリーデータである斜面方位, 間伐の有無, 林種は除く。*印は有意性を表す (スピアマンの順位相関係数の検定, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$)。

では広葉樹林に比べて, 亜高木種の比率 (3.10) が高く, 高木種 (0.32), とくに林冠優占種 (0.07) の割合が低かった (表-3)。一方, 皆伐地では広葉樹林に比べて高木種 (1.70) や陽性高木種 (1.21) で比率が高く, 林冠優占種の比率 (0.04) は人工林よりも低い値であった。

2. 人工林における樹木の定着密度の予測

人工林における定着密度の予測モデルのAICを (表-4a) に, また各種群でAICが最も小さかったモデルのカテゴリースコアとアイテム内のレンジを表-5に示す。AICによる変数選択を行った場合, 当初設定した八つのアイテムのうち, 標高, 斜面方位および間伐の有無の三つは, すべての種群の予測モデルにおいて有効な要因として採択されなかった。全種と亜高木種は, アイテムが一つになるまでAICが減少し続け (表-4a), 一つのアイテムからなるモデルの決定係数 (R^2) は0.2未満であった (表-5)。各種群のうち高木種, 陽性高木種では, R^2 がそれぞれ0.463, 0.568であった (表-5)。

予測値への影響の大きさを表すレンジをみると, 高木種, 陽性高木種, 林冠優占種では林齢が最も大きく, 傾斜角がそれに続いた。陽性高木種の林齢のスコアは1~19年が最大 (223.8) で, 20年以降は減少し30~39年で最小 (-144.3) となり, 40年以降は再び若干増える変化を示した (表-5)。一方, 林冠優占種の林齢のスコアは, 40~49年 (65.0) まで林齢の大きいカテゴリーほど大きく, 50年以降小さくなる変化を示した。傾斜のスコアは, 陽性高木種では傾斜角が緩やかなほど大きく, 逆に林冠優占種では傾斜角が急なほど

表-3. 各種群の定着密度の平均値±標準偏差

	n	植栽木 (本/ha)	全種 (本/ha)	高木種 (本/ha)	陽性高木種 (本/ha)	林冠優占種 (本/ha)	亜高木種 (本/ha)
人工林	59	1290±649	600±786	143±200 (0.32*)	87±169 (0.15)	32±81 (0.07*)	456±709 (3.10*)
皆伐地	41	—	2655±2991	1717±2112 (1.70*)	1447±1889 (1.21*)	162±535 (0.04*)	938±1632 (0.59*)
広葉樹林	17	—	3487±2704	1321±1062 (0.61)	554±754 (0.17)	451±442 (0.19)	2166±2254 (1.65)

括弧内はそれぞれの全調査地に定着した各種群の全本数とその種群以外の全本数の比率 (ある種群の本数/それ以外の本数) を表す。*付は人工林および皆伐地の比率が広葉樹林のそれと有意に異なる (Fisherの直接確率法, $p < 0.0001$)。 n は調査地数。

表-4. 各モデルの AIC の値
a) 人工林

モデル No.	全 種	高木種	陽性高木種	林冠優占種	亜高木種
1	968.51	786.24	753.35	696.24	954.91
2	966.52 f	783.49 a	750.31 a	694.25 f	953.04 f
3	974.20 h	783.71 f	749.69 f	690.51 a	949.82 b
4	960.12 b	780.66† c	748.50† c	688.18 h	947.30 h
5	961.40 g	780.87 e	751.49 h	684.76† c	943.47 c
6	960.86 a	786.54 h	752.77 g	685.52 g	943.81 a
7	957.58 c	788.31 g	751.95 e	684.85 e	945.47 g
8	953.30† g	790.57 b	759.82 b	686.84 b	942.23† d

b) 皆伐地

モデル No.	全 種	高木種	陽性高木種	林冠優占種	亜高木種
1	768.13	730.07†	722.14†	644.43	731.52
2	763.68 c	731.26 b	722.58 b	640.44 e	728.09 a
3	761.91 b	734.76 e	726.32 e	637.91 b	724.79 e
4	761.41† e	732.25 c	724.48 c	634.24† c	722.22† b
5	765.68 a	745.14 d	734.70 d	635.37 d	722.69 c

モデル No. 1 がすべてのアイテムを使用した場合で、右端のアルファベットは一つ前のモデルから抜いたアイテム¹⁾を、†は各種群で AIC が最小のものをそれぞれ表す。

¹⁾ アイテムの略記号：a, 標高；b, 傾斜角；c, 斜面方位；d, 林齢または皆伐後の経過年数；e, 天然林からの距離；f, 間伐の有無；g, 林種；h, 植栽木密度。

ど大きい傾向がみられた。

3. 皆伐地における樹木の定着密度の予測

皆伐地における定着密度の予測モデルについて、AIC (表-4b) が最も小さかったモデルのカテゴリースコアとアイテム内のレンジを表-6 に示す。採択されたモデルの R^2 は 0.183 から 0.614 の範囲で、高木種 (0.614) と陽性高木種 (0.602) で高く、林冠優占種 (0.183) が最も低かった (表-6)。レンジをみると、高木種、陽性高木種ともに、皆伐後の経過年数が最も大きく (高木種は 2,778.6, 陽性高木種は 2,327.7), 斜面方位, 標高がそれに続いた。全定着樹木の半分以上を占める陽性高木種 (表-3) では、皆伐後の経過年数が大きいほどスコアが大きく、また、北

向き斜面 (1,025.4) や標高 600~799 m (1,026.4) のカテゴリースコアでそれぞれスコアが大きかった (表-6)。

IV. 考 察

本研究では、陽性高木種など同じ樹種特性をもつ種群を特定することにより、人工林や皆伐跡地への樹木の定着密度を比較的高い精度で予測できることが示唆された。人工林、皆伐地ともに、全種を対象とした場合、予測モデルであまり大きい R^2 が得られなかった (人工林 0.124, 皆伐地 0.418) が、その原因の一つは、光環境に対する樹種特性などの異なる樹種が混在し、定着に影響を及ぼす要因が樹種間で異なったためと考えられる。たとえば人工林の場合、同じ高木種でも陽性高木種と林冠優占種とでは傾斜や林齢の影響の仕方が異なっていた (表-5)。今回一つの種群とした亜高木種についても、種間で更新特性が異なることは、従来指摘されており (たとえば、永松ら, 2001; Saito, 2002), R^2 (人工林 0.108, 皆伐地 0.284) は全種の場合と同様に低い結果であった。また高木種を陽性高木種に絞り込むことで、人工林では R^2 が高まる結果が得られた (表-5)。これらの事実は、生活型 (高木・亜高木) のみで区分するよりも、更新や定着後の成長に影響する光環境に対する樹種特性などを反映させた種群の方がより高い精度で定着密度を予測できることを示している。皆伐地において生活型で分けた高木種の R^2 (0.614) が比較的高かったのは、その多くが陽性高木種で占められていた (表-3) ためと考えられる。

本研究は、標高や林齢といった地理情報や森林簿などから容易に得られる情報でも、樹木の定着密度の予測に十分活用できることを示した。ただし今回の予測モデルで採用したアイテム以外にも、広葉樹類の定着や種組成に影響する要因として、下刈・除伐などの更新作業 (長谷川, 1991; 横井・山口, 2000; 杉田ら, 2003; 長谷川, 2005), 林冠開

表-5. AIC によるモデル評価で変数を選択した場合の、人工林に定着した樹木の各種群の個体密度予測のためのカテゴリースコア

アイテム	カテゴリー	n	全種 (本/ha)		高木種 (本/ha)		陽性高木種 (本/ha)		林冠優占種 (本/ha)		亜高木種 (本/ha)	
			スコア	レンジ	スコア	レンジ	スコア	レンジ	スコア	レンジ	スコア	レンジ
傾斜角 (°)	0~15	25			90.0	189.4	88.0	197.6	-24.5	60.0		
	16~29	21			9.5		21.7		-11.1			
	30~	13			-99.5		-109.6		35.6			
林齢 (年)	0~19	7			187.6	353.4	223.8	368.1	-22.0	89.5		
	20~29	4			61.6		34.3		-14.3			
	30~39	14			-165.8		-144.3		-4.3			
	40~49	23			4.5		-59.4		65.0			
	50~	11			-87.8		-54.4		-24.5			
天然林からの距離 (m)	0~99	39	375.7	672.1	35.9	129.2	5.1	109.2	22.0	42.3	321.1	541.3
	100~199	10	-79.2		46.6		52.0		-1.8		-100.8	
	200~	10	-296.5		-82.5		-57.1		-20.2		-220.3	
樹種	スギ	49			-79.4	158.9	-53.7	107.4	-20.9	41.7		
	ヒノキ	10			79.4		53.7		20.9			
植栽木密度 (本/ha)	0~999	24			89.3	134.3	40.7	96.7				
	1000~1999	27			-44.2		-40.7					
	2000~	8			-45.1		-55.9					
定数項			415.1		176.2		147.2		25.2		298.6	
R^2			0.124		0.463		0.568		0.320		0.108	

n はそのカテゴリーに属する調査地数。

表-6. AIC によるモデル評価で変数を選択した場合の、皆伐地に定着した樹木の各種群の個体密度予測のためのカテゴリースコア

アイテム	カテゴリー	n	全種 (本/ha)		高木種 (本/ha)		陽性高木種 (本/ha)		林冠優占種 (本/ha)		亜高木種 (本/ha)	
			スコア	レンジ	スコア	レンジ	スコア	レンジ	スコア	レンジ	スコア	レンジ
標高 (m)	～599	12	39.5	3067.2	-1.7	2164.9	-223.0	1829.8	262.0	518.0		
	600～799	22	1513.8		1083.3		1026.4		-5.9			
	800～	7	-1553.4		-1081.6		-803.4		-256.0			
傾斜角 (°)	0～15	11			-291.6	1229.9	-217.2	1038.5				
	16～30	17			-469.2		-410.6					
	31～	13			760.8		627.9					
斜面方位	E	14			12.5	2301.0	127.6	2241.8			-434.4	1374.3
	W	3			-1269.8		-1216.4				624.8	
	S	13			226.1		63.5				559.0	
	N	11			1031.3		1025.4				-749.5	
皆伐後 経過年数 (年)	0～4	18	-2408.5	4045.0	-1562.3	2778.6	-1268.2	2327.7	-218.0	467.9	-728.6	1602.7
	5～10	11	772.0		345.9		208.8		249.9		-145.5	
	11～	12	1636.5		1216.3		1059.5		-31.9		874.1	
天然林から の距離 (m)	0～199	18			397.1	1640.8	361.8	1500.8				
	200～399	14			-1019.0		-931.3					
	400～	9			621.9		569.5					
定数項			2468.0		285.5		300.3		169.7		1167.7	
R ²			0.418		0.614		0.602		0.183		0.284	

n はそのカテゴリーに属する調査地数。

空度, A₀ 層の量 (酒井ら, 2004), 微地形 (Ito *et al.*, 2003), 以前の土地利用形態 (Ito *et al.*, 2004) などが知られている。また, 植栽密度や間伐などによる植栽木の本数変化の割合の違いは広葉樹類の定着にあまり影響していない例も報告されているが (齊藤ら, 2004), 一般に間伐により広葉樹類の定着が増大し, 下層植生が発達するといわれる (清野, 1990)。こうした土壌条件や間伐などの施業履歴を適切に説明変数として組み込めば, 予測モデルの精度がさらに向上する可能性がある。しかし, 本研究の調査地も含めて, 詳細な施業履歴が不明な場合が多く, また A₀ 層の量など土壌条件については情報収集に労力がかかる。今回は, 省力的な針広混交林化を前提に, 簡易な予測モデルの提示をおもな目的としたため, 地理情報や森林簿などから容易に得られる情報に限定して予測モデルのアイテムを選択した。その結果, これらの情報だけでも, 上述のように光環境に対する樹種特性などを反映させた種群に区分けすることで, その予測モデルの精度をある程度まで上げることが可能であるとわかった。

本研究では, 定着樹木に影響する要因が人工林と皆伐地とで若干異なることがわかった。このことは, 人工林と皆伐地に広葉樹の定着を促進させるにあたって, それぞれに影響の大きい要因を踏まえた管理指針の作成が重要であることを示唆している。人工林と皆伐地で大きく異なっていた点は, 斜面方位と標高の影響の度合いであった (表-5, 表-6)。斜面方位と標高は, 人工林の陽性高木種の密度予測モデルにおいて有効なアイテムとして残らなかったのに対し, 皆伐地では皆伐後の経過年数について大きいレンジを示した。皆伐地で斜面方位の影響が大きいのは, 人工林下では少ない草本類との競争の影響が一因と考えられる。調査データから草本類 (蔓・ササを含む) の被度の平均値を算出すると, 北向き斜面 (35%) がそれ以外 (60%) より有意に小さい結果であった ($p < 0.05$, Mann-Whitney

の U 検定)。したがって, 皆伐地での陽性高木種の定着が北向き斜面に多い (表-6) のは, 日当たりの悪さで草本類の繁茂が抑えられたことが一因と考えられる。また九州の場合, 高標高域でニホンジカの密度が高く (近藤ら, 2005), また皆伐地のような開放的な環境ではニホンジカが大きな群れを作り, 大きな農林業被害になりやすいことが一般的に知られている (三浦, 1999)。皆伐地の標高 800 m 以上で樹木の定着密度が低かった (表-6) のは, ニホンジカによる被食の影響の可能性も考えられる。いずれにせよ, 皆伐地での広葉樹林造成を考える場合, 人工林と異なり, 標高と斜面方位にも留意する必要がある。

本研究の解析により, 林齢の増加に伴う人工林の陽性高木種密度の変化のパターンが明らかとなった。人工林の陽性高木種の密度は, 皆伐地のように年数の増加とともに単純に増加するのではなく, 30～39 年まで減少し, その後増加する変化を示した。人工林の林冠の葉量は, 林冠が閉鎖するまで急激に増加し, 閉鎖後一時減少したのち最大値より少し小さい値で安定する変化を示す (堤, 1989)。今回の調査で得られた広葉樹侵入密度の林齢の増加に伴う変化は, 人工林の林冠葉量の変化と逆のパターンを示している。造林初期に多く侵入した陽性高木種は, 植栽木による林冠の閉鎖に伴い密度が一時減少し, 植栽木の林冠閉鎖後の林冠葉量の減少あるいは除間伐の影響による新たな定着で, 林齢 40 年以降に密度が微増したものと考えられる (cf. 長谷川, 1991; 横井・山口, 2000; 杉田ら, 2003)。重回帰分析のようにあるパラメータに対して正か負の係数しかもちえない解析方法では, このような変化を把握できないのに対し, 本解析ではいくつかに分けたカテゴリーにスコアを与えるため, 壮齢時 (本研究では 30～39 年) に密度が最小になるような変化のパターンを把握できた。一方で本解析は, カテゴリーに分けるために詳細な変化の把握が困難であったり, カテゴリーの分け方で結果が左右さ

付表-1. 調査で出現した樹種とその生活型および性質

種 名	高木種	陽性高木種	林冠優占種	亜高木種	種 名	高木種	陽性高木種	林冠優占種	亜高木種	
アオハダ				○	シナノガキ	○	○			
アカガシ	○		○		シラカシ	○		○		
アカシデ	○	○			シラキ				○	
アカマツ	○	○			シロダモ				○	
アカメガシワ	○	○			スギ	○				
アサガラ				○	スダジイ	○		○		
アラカシ	○		○		ソヨゴ				○	
アワブキ	○				タブノキ	○		○		
イイギリ	○	○			タムシバ	○				
イスノキ	○		○		タンナサワフタギ				○	
イタヤカエデ	○				チシャノキ	○				
イヌガシ				○	チドリノキ				○	
イヌガヤ				○	ツガ	○		○		
イヌザクラ	○	○			ツクシトネリコ	○				
イヌシデ	○	○			ツクバネガシ	○		○		
イヌツゲ				○	ツゲモチ				○	
イヌビワ				○	トチノキ	○				
イヌブナ	○		○		ナナメノキ				○	
イロハモミジ	○				ニガキ				○	
ウラジロガシ	○		○		ヌルデ				○	
ウラジロノキ	○	○			ネジキ				○	
ウリカエデ				○	ネズミモチ				○	
ウリハダカエデ				○	ネムノキ	○	○			
ウワミズザクラ	○	○			ノグルミ	○				
エゴノキ				○	ハイノキ				○	
エゾエノキ	○				ハゼノキ	○	○			
エノキ	○				ハマクサギ				○	
エンコウカエデ	○				ハリエンジュ	○	○			
オオモミジ	○				ハリギリ	○	○			
オガタマノキ	○				バリバリノキ	○				
カキノキ	○	○			ヒコサンヒメシャラ	○	○			
カゴノキ	○				ヒサカキ				○	
カナクギノキ	○				ヒノキ	○				
カヤ	○				ヒメシャラ	○	○			
カラスザンショウ	○	○			ブナ	○		○		
キハダ	○	○			ホオノキ	○				
クヌギ	○	○			ホソバタブ				○	
クマシデ	○	○			マルバアオダモ	○				
クマノミズキ	○	○			ミズキ	○	○			
クリ	○	○	○		ミズナラ	○		○		
クロガネモチ				○	ミズメ	○	○			
クロキ				○	ムクノキ	○				
ケヤキ	○				モチノキ	○				
コシアブラ	○	○			モッコク				○	
コジイ	○	○	○		モミ	○		○		
コナラ	○	○	○		ヤブツバキ				○	
コハウチワカエデ	○				ヤブニッケイ				○	
コハクウンボク				○	ヤマウルシ				○	
コバノトネリコ	○				ヤマグワ	○	○			
コブシ	○				ヤマザクラ	○	○			
ゴマギ				○	ヤマトアオダモ	○				
ゴンズイ				○	ヤマハゼ				○	
サカキ				○	ヤマボウシ				○	
サザンカ				○	ヤマモミジ	○				
サワグルミ	○	○			ヤマヤナギ				○	
サワシバ	○				ユズリハ	○	○			
サワフタギ				○	リュウキュウマメガキ	○	○			
サンゴジュ	○				リョウブ				○	
シイモチ				○	リンボク				○	
シキミ				○	合計種数	119	76	32	16	43

れる欠点ももつ。本研究では、簡易な予測を目的としたため数量化Ⅰ類を用い、林齢増加によるおよその変化パターンを把握するにとどまった。今回明らかになった変化パターンをもとに、今後林齢の効果をより詳細に解析することは興味深い点である。

本研究では、林冠優占種が全く定着していない人工林、皆伐地が調査地全体の約4分の3を占め、これら樹種の定着はごく限られた条件下でないと困難であることが示唆された。成熟した照葉樹林における林冠優占種とそれ以外の樹種との比率をみると、鹿児島県霧島町で0.11～0.55

(Ngakan *et al.*, 1996), 宮崎県綾町で 0.91 (Sato *et al.*, 1999), 鹿児島県大口市で 0.44 (小南ら, 2003) などの報告例がある。これらの比率と比べると, 人工林 (0.07), 皆伐地 (0.04) とともに林冠優占種の定着密度ははるかに低いことがわかる (表-3)。これまでに, スギ人工林に定着する高木性樹種の優占度は低く (小谷・高田, 1999), その定着には隣接した母樹が欠かせない (谷口ら, 1999) といった事例が報告されている。今回, 人工林の林冠優占種の定着密度予測モデルでは, 林齢や傾斜など影響の大きい要因がいくつか抽出され, 傾斜 30° 以上, 林齢 40 年生以上, 天然林からの距離 100 m 未満の条件で林冠優占種の定着が多い傾向がみられた (表-5)。しかし, 本研究で設定した調査地は林冠優占種がまったくない箇所を多く含み, 予測モデルの精度が十分上がらなかった可能性がある。林冠優占種の大部分は有用樹である (林業科学技術振興所, 1985)。木材生産機能を含む多面的機能をもつ針広混交林を造成するためには, 林冠優占種が定着できるかが重要なポイントとなる (齊藤ら, 2004)。上述した傾向をもとに, 今後は条件を絞り込んだ調査地を選定し, 林冠優占種のデータ数を増やすことにより, さらに有効な予測モデルへの改良が必要である。

本研究は, 独立行政法人森林総合研究所交付金プロジェクト「針葉樹人工一斉林の針広混交林化誘導手法開発のための基礎的データセットの作成」(課題番号: 200304) の一部として行った。

引用文献

- 長谷川幹夫 (1991) スギ不成績造林地での下刈, 除伐が広葉樹の定着に与える影響. 日林誌 73: 375-379.
- 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.
- 長谷川幹夫・平 英彰 (2000) 多雪地帯のスギ人工林に侵入した広葉樹の種組成構造の特徴. 日林誌 82: 28-33.
- 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 southwestern Kyushu, Japan. *For. Ecol. Manage.* 196: 213-225.
- Ito, S., Nakagawa, M., Buckley, G.P., and Nogami, K. (2003) Species richness in sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantations in southwestern Kyushu, Japan: The effects of stand type and age on understory trees and shrubs. *J. For. Res.* 8: 49-57.
- Johnson, J.B. and Omland, K.S. (2004) Model selection in ecology and evolution. *Trends Ecol. Evol.* 19: 101-108.
- 清野嘉之 (1990) ヒノキ人工林における下層植物群落の動態と制御に関する研究. 森林総研研報 359: 1-122.
- Kodani, J. (1999) Invasion pattern of nine deciduous broad-leaved species in a snow-damaged *Cryptomeria japonica* plantation. *Jpn. J. For. Environ.* 41: 1-6.
- Kodani, J. (2001) The effects of canopy gaps on seedling emergence and growth of two deciduous broad-leaved species (*Cornus controversa* and *Prunus grayana*) in a *Cryptomeria japonica* plantations. *J. For. Res.* 6: 303-305.
- 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. 石川県林試研報 30: 1-10.
- 小谷二郎・高田兼太 (2000) 冷温帯のスギ人工林の下層での広葉樹のフェノロジー. 森林立地 42: 9-15.
- 小南陽亮・永松 大・佐藤 保・齊藤 哲・田内裕之 (2003) 孤立化した照葉樹林における樹木個体群の構造変化. 保全生態学研究 8: 33-41.
- 近藤洋史・池田浩一・小泉 透・村上拓彦・吉田茂二郎 (2005) 福岡県英彦山周辺におけるニホンジカ枝葉採食被害の発生予測. 森林防疫 54(8): 6-10.
- 九州森林管理局 (2004) 平成 15 年度国有林野事業の実施状況について. 40 pp, 九州森林管理局, 熊本.
- 正木 隆・中村松三・太田敬之・大谷達也・大原偉樹・杉田久志・斎藤宗勝・榊林友広・長池卓男 (2003) 白山山地奥赤石林道沿いのスギ・広葉樹混交林の群集構造と 5 年間の変化. 東北森林科学会誌 8: 75-83.
- Masaki, T., Ota, T., Sugita, H., Oohara, H., Otani, T., Nagaike, T., and Nakamura, S. (2004) Structure and dynamics of tree populations within unsuccessful conifer plantations near the Shirakami Mountains, a snowy region of Japan. *For. Ecol. Manage.* 194: 389-401.
- 三浦慎悟 (1999) 林業改良普及双書 No. 132 野生動物の生態と農林業被害 共存の論理を求めて. 174 pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
- 永松 大・小南陽亮・佐藤 保・齊藤 哲 (2001) 綾照葉樹林における主要亜高木 2 種の分布様式の比較. 日林九支研論 54: 91-92.
- Ngakan, P.O., Tagawa, H., and Yukawa, J. (1996) Vegetation and its regeneration study based on plant demography on Mt. Kurino-dake, South Kyushu, Japan with special reference to vertical forest zones and seedlings of canopy species. *Veg. Sci.* 13: 95-106.
- Noda, I. and Hayashi, M. (2004) Characteristic differences of non-reforested lands compared with reforested lands in Kumamoto, Kyushu. *Bull. FFPRI.* 3(1): 29-32.
- 応用統計ハンドブック編集委員会編 (1978) 応用統計ハンドブック. 827 pp, 養賢堂, 東京.
- 林業科学技術振興所 (1985) 有用広葉樹の知識 育てかたと使いかた. 514 pp, 林業科学技術振興所, 東京.
- 林野庁 (2005) 平成 17 年度において講じようとする森林及び林業施策 第 162 回国会 (常会) 提出. 48 pp, 林野庁, 東京.
- Saito, S. (2002) Effects of a severe typhoon on forest dynamics in a warm-temperate evergreen broad-leaved forest in southwestern Japan. *J. For. Res.* 7: 137-143.
- 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.
- 酒井 敦・篠宮佳樹・鳥居厚志・田淵隆一 (2004) 棚田跡に植栽したスギ人工林の林床植生. 森林応用研究 13: 145-149.
- 堺 正紘 (2003) 再造林放棄と森林資源管理問題. (森林資源管理の社会化. 堺 正紘編, 九州大学出版会, 福岡). 18-25.
- 坂元慶行・石黒真木夫・北川源四郎 (1983) 情報科学講座 A・5・4 情報量統計学. 236 pp, 共立出版, 東京.
- Sato, T., Kominami, Y., Saito, S., Niiyama, K., Manabe, T., Tanouchi, H., Noma, N., and Yamamoto, S. (1999) An introduction to the Aya Research Site, a Long-Term Ecological Research site, in a warm temperate evergreen broad-leaved forest ecosystem in southwestern Japan: Research topics and design. *Bull. Kitakyushu Mus. Nat. Hist.* 18: 157-180.
- 杉田久志・猪内次郎・百目木忠之・田口春孝・岩根好伸・大石康彦・昆 健児 (2003) 天然更新によるカラマツ人工林の広葉樹林への誘導—小岩井農場山林における事例. 東北森林科学会誌 8: 1-9.
- 谷口真吾・長谷川清人・高橋 徹・高山 勉 (1999) 雪害を受けた被害林の修復技術の開発 (I) —雪害林の林孔に出現した植生種の多様性と植栽木の成長. 兵庫森林技研報 47: 28-36.
- 堤 利夫 (編) (1989) 森林生態学. 166 pp, 朝倉書店, 東京.
- 横井秀一・山口 清 (2000) 積雪地におけるスギ不成績造林地の取り扱い—スギと広葉樹の成長過程からみた施業案. 森林立地 42: 1-7.
- 吉田茂二郎 (2003) 再造林放棄地の立地条件と植生の回復状況. (森林資源管理の社会化. 堺 正紘編, 九州大学出版会, 福岡). 46-61.