先駆種, 遷移中・後期種の混植による法面緑化の初期の生育状況

畠田知帆^{*1)}・長島啓子¹⁾・高田研一²⁾・田中和博¹⁾

1) 京都府立大学大学院生命環境科学研究科環境科学専攻 Graduate School of Life and Environmental Science, Kyoto Prefectural University

2) 森林再生支援センター Center for Restoration of Regional Nature

摘要: 本研究では, 先駆種, 遷移中・後期種の混植を用いた通称自然配植技術による植栽が行われた法面(奈良県岩井川ダム道路の採石場跡法面)において, 先駆種が優占する初期緑化目標群落が発達しているか, 及び階層構造が発達しつつあるかを確認するためのモニタリング調査を行った。現地調査は H 18~H 19 年にかけてヤマハゼ, エドヒガン, ハゼノキ, ヤマザクラ, ケヤキ, イロハモミジ, モミ, ヤブツバキ, モチノキ等の植栽が実施された防鹿柵内の全ての木本植物 43 種を対象に H 23 年に行った。H 23 年調査時の生残率は 66.1% であった。調査は過去に H 21 年にも行われ, 樹高階別本数分布を H 21 年のモニタリングデータと比較すると先駆種と中期種は全体的に樹高階の高い方へ移行していた。一方, 後期種は兩年とも低い樹高階に分布していた。また, 樹冠面積割合では先駆種が 59.0% と最も大きく, 中期種は 36.1%, 後期種は 4.9% と, 遷移段階の間に差がみられ, 樹冠投影図では主に先駆種が林冠を占めていた。以上のことから, 対象地が初期緑化目標群落を形成し, 複層林化が進んでいることが示された。

キーワード: 自然配植, 自然回復緑化, 階層構造, 広葉樹, 植栽

SHIMADA, Chiho, NAGASHIMA, Keiko, TAKADA, Kenichi and TANAKA Kazuhiro: **Primary stage of slope revegetated by planting different seral stage broadleaved trees**

Abstract: In order to restore a broadleaved forest, different seral stage broadleaved trees were planted using the so-called "natural planting" technique on post-stone pit slope adjacent to the Iwaigawa dam. The purpose of this study was to confirm whether the initial vegetation, in which pioneer species are dominant, and vertical forest structure have developed. A survey was performed for the following trees: *Rhus sylvestris* Sieb. et Zucc., *Prunus pendula* Maxim. f. *ascendens* (Makino) Ohwi, *Rhus succedanea* L., *Prunus jamasakura* Sieb. ex Koidz., *Zelkova serrata* (Thunb.) Makino, *Acer palmatum* Thunb., *Abies firma* Sieb. et Zucc., *Camellia japonica* L., and *Ilex integra* Thunb.; 43 species were planted within patches surrounded by deer fences. In 2011, the survival percentage of the planted trees was 66.1%. The number of individual trees was compared on the basis of height class by using data collected in 2009 and 2011, and most of the pioneer and middle seral-stage species were moved to a higher class. Late successional species were observed to be in the low height class in both years. Clear differences were found for the canopy area rate in each seral stage: pioneer species, 59.0%; middle seral-stage species, 36.1%; and late successional species, 4.9%. The dominance of pioneer species in the canopy layer was successfully confirmed using a crown projection diagram. On the basis of these results, we concluded that the initial vegetation had developed in the multi-layered forest.

Key words: Natural planting, Slope revegetation for nature restoration, Vertical forest structure, Broadleaf trees, Planting

1. はじめに

我が国では, 法面緑化を行う際に裸地斜面を早期に被覆して, 土砂の流出を防止することができる外来草本類が主に用いられてきたが, 地域生態系の遺伝的攪乱を招く懸念や, 導入した植物が衰退すると, 法面の風化・浸食が発生する懸念が指摘されている⁹⁾。また, 草本類が法面を被覆し繁茂するため, 周辺からの植物の侵入を阻害し, さらに地際に光が十分に届かないことから, 木本類への遷移に多大な時間を要し, 周辺と同様の植物群落に移行しにくいことが考えられる^{22, 23)}。

そのような中, 法面緑化工法が見直されており, 周辺植生, 広くは周辺の生態系と調和する植物群落を形成して, 裸地状態の法面の荒廃を防ぎつつ, 地域固有の生態系や生物多様性を保全し, 周辺景観との調和を図る自然回復緑化に関心が高まっている²⁾。この自然回復緑化では立地環境や緑化目的を考慮した上で初期緑化目標群落と最終緑化目標群落を定めており, 前者は環境改善機能の高い先駆種などを主体とする植物群落を, 後者は周辺の自然植生と同等もしくはなるべく近い植物群落を目指す²⁾。

本研究で対象とした植栽方法(通称「自然配植技術」)は,

初期緑化目標群落及び最終緑化目標群落を定めた上で地域由来の木本植物を立地環境や個々の種が植生遷移の中で出現する段階（以下、遷移段階）を考慮しながら先駆種と遷移中・後期種を混植することで、初期に先駆種、その後中・後期種から成るその土地本来の植物群落の再生を目指しており¹⁹⁾、現在提唱されている自然回復緑化と類似した考え方で植栽が行われている。さらに、自然配植技術では植栽後基本的に手を加えず、植栽木と外部からの侵入樹種による遷移の進行を想定しており、自然の再生力である植生遷移の軌道に乗せるきっかけづくり¹¹⁾という点においても、自然回復緑化と共通すると考えられる。しかし、自然回復緑化の考えに基づき苗木植栽が行われた施工事例はまだ少ないのが現状である^{5, 14, 20)}。そのため、自然配植技術による緑化の事例は、今後の自然回復緑化手法を考える上で重要だと言える。しかし、想定されている初期緑化目標群落及び最終緑化目標群落が本技術によって形成されているのかなど、自然配植技術に関わる学術報告は今まで成されていない。そのため、本研究では最初に達成されるべき初期緑化目標群落に着目した。本手法により植栽が行われてから3~5年経過している法面において、先駆種が優占する初期緑化目標群落が形成していることを確認し、階層構造が発達しつつあるかを確かめることを目的とした。

2. 自然配植技術とは

自然配植技術¹⁹⁾はNPO法人「森林再生支援センター」の高田が提案する手法であり、植生遷移の過程で出現時期の異なる先駆種と遷移中・後期種の苗木を用いて、疎密をつけた配植位置にしたがって苗木を植栽する手法である。本手法によって植栽が行われた箇所は全国に存在する（例：岐阜県等¹⁷⁾）。本手法では苗木を選定する際は、遷移段階の他に予め設定した緑化目的と植栽地の立地環境として微地形を考慮する。なお、用いる苗木はすべて地域性の苗木である。

この緑化手法では、シカによる食害が想定される施工地では、5×5~6×8 m程度の防鹿柵で囲まれたパッチを配置し、このパッチ内に先駆種と遷移中・後期種を組み合わせることで、まず、成長速度が速く樹冠を発達させるまでの期間が短い先駆種²¹⁾が優占することを想定している（初期緑化目標群落）。そして、寿命や遷移中・後期種の被陰・被圧により先駆種が枯死すると、中・後期種が優占することが想定されている。その後、樹冠の拡大により、樹林化した各パッチ同士が結合するようになり、最終的には、主に遷移中・後期種で構成される複層林構造をもった樹林が形成されることを目標としている（最終緑化目標群落）。

苗木を植栽する際には、パッチの植生遷移や樹冠の成長、外部からの樹種侵入などを考慮して、苗木を一様に配植するのではなく、空間（ギャップ）を設けている（図-1）。その上で、樹木をそれぞれに適した立地環境に植栽し¹⁹⁾、上述したような過程に誘導することを目指す。なお、本手法では同種の苗木を3本以上寄せて植える「巣植え」を行っている。巣植えを行うのは、隣接個体との競争により上伸成長が促進

※樹種の遷移段階、生活形は表-2 参照

図-1 採石場跡法面の配植図例

Fig. 1 An example of the planting design of a patch on the post-stone pit slope

されることを期待しているためである。その一方、競争が繰り返される中で、苗木が枯死する可能性も考えられる。本手法は競争による枯死の可能性も踏まえて、最終緑化目標群落が形成されるように植栽を行っている。このように自然配植技術は、地域由来の木本植物を立地環境や遷移段階を考慮しながら植栽することで、その土地本来の植物群落の再生を目指している。各樹種の植栽に適した立地環境や空間を設けた配植、巣植えによる上伸成長の促進や競争による枯死など、本手法の効果を把握するための課題は多い。しかし、自然配植技術の有効性を把握するには、まず本手法が想定している植生の変化が生じていることを証明し、その上で上記の個々の技術的特徴がその植生の変化にどのように寄与しているかを把握する必要がある。このため、本研究ではまず植栽時に想定した通り、先駆種が優占しているかと階層構造が発達しつつあるか、つまり初期緑化目標群落へ確実に移行しているかどうかを確かめることを目的とした。

3. 方法

3.1 研究対象地

研究対象地は1割8分勾配の岩井川ダム道路法面である。岩井川ダム道路法面は奈良市中心部から東に約3 kmの位置にあり、法面を東西に横切るように県道80号線が通っているため交通量は多く、人目に多く触れる場所である。また、岩井川ダムの堤体は古都保存地区に含まれ、岩井川ダムから北へ約2 kmの位置には我が国有数の照葉樹林である世界遺産春日山原生林があり、環境省により特定群落に指定されている²⁴⁾。気象庁⁷⁾によると1981年から2010年の年平均気温は14.9℃、年平均降水量1,316.0 mmである。研究対象地では自然配植技術による緑化がなされる以前には、開発行為によって生じた裸地部分の緑化を目指し、シナダレスズメガヤ等の外来草本種及びマメ科を中心とした木本種子の播種工が行われた。しかし草本群落は形成されたものの、草本群落による被陰やシカの食害により、木本群落は形成されなかつ

図-2 研究対象地
Fig. 2 Study area

た。岩井川ダム道路法面の緑化は、周辺の自然植生や景観を保護する意味で、大変重要な位置を占めていると考えられたことから、シカの食害を防ぎ、その土地本来の植物群落の再生を目指す自然配植技術を導入するに至った。植栽が行われたのは埋め立て法面である採石場跡法面、切土法面と盛土法面であり、法面はすべて南向きであるため、植栽初期の強光条件を緩和し苗木の枯死を防ぐ目的で、苗木の南面に高さ50 cm程度の小型遮光柵が設置されている。また、強光条件に対する他の対策として先駆性高木の遮光側に遷移中・後期種の配置を行っている。

3.2 現地調査

本研究では、採石場跡法面を調査対象地とした(図-2)。採石場跡法面は、採石場として利用された後、外部から持ち込んだ建設廃材、不燃ゴミ、廃土等から構成される建設残土を埋めた埋め立て法面である。そのため、土壤改良材として汚泥コンポストを用いたが生育基盤層となる表土は薄く、一度、播種工による緑化が試みられたものの、樹林には移行せずススキ群落や外来草本群落が形成されていた²⁴⁾。そこで、世界遺産春日山原生林のバッファゾーンである施工地の裸地部分を緑化し地域生態系を復元するために、生態系保全機能をもつ群落育成を緑化目的とし、同時に景観的な要素も加味して苗木を選定した。H 18~H 19年に自然配植技術によって植栽が行われ、H 23年調査時で4~5年経過している。

初期緑化目標群落としてヤシャブシを始めとする先駆種による林冠の被覆を目指し、ウワミズザクラやエドヒガン、ヤマザクラから成るサクラ林を経て、最終緑化目標群落はシラ

表-1 調査年及び調査項目

Table 1 Years and contents of the survey

調査年	調査項目
H 19年	・ 植栽木の生残
H 21年	・ 植栽木の生残と樹高
H 23年	・ 植栽木の生残 ・ 植栽木及び侵入種の樹高、立木位置、胸高直径、地際直径、樹冠幅

カシやアラカシを始めとする常緑樹林と定めた。サクラ林を維持するか、それとも手を加えず常緑樹林へと遷移を進めるかは将来の地域住民の判断に委ねる計画である。一方、景観的な要素が重要な箇所はケヤキ林と定めた。

採石場跡法面の面積は約4.5 haであり、総パッチ(5×5~6×8 m程度の防鹿柵で囲まれた植栽地)数は248パッチである。植栽された樹種はヤマハゼ、エドヒガン、ハゼノキ、ヤマザクラ、ケヤキ、イロハモミジ、モミ、ヤブツバキ、モチノキ等57種、植栽本数は7,233本で、その内先駆種は2,506本、遷移中・後期種は4,727本であった。パッチあたりの平均植栽本数は約30本である。全パッチを対象に過去に2回モニタリング調査が行われており、植栽直後のH 19年では植栽木の生残について、植栽2~3年後のH 21年では植栽木の生残、樹高について調査が行われ(表-1)、本研究では、248パッチの中からランダムに20パッチ抽出し、H 23年10月に第3回目のモニタリング調査を行った。H 23年の現地調査では、植栽木の他に侵入種も含むパッチ内の全ての木本植物を対象に、過去のモニタリング調査の調査項目である植栽木の生残、樹高(m)に加え、立木位置、胸高直径(cm)、地際直径(cm)、根元を起点とした四方向の樹冠幅(m)についても調査を行った。また、植栽木の枯死や侵入種の有無、株立ちになっている場合はその幹の本数も記録した。なお、調査を行ったパッチ内に植栽された樹種は57種中43種、植栽本数は646本で、その内先駆種は275本、遷移中・後期種は371本であった。植栽時の苗は全て3~4年生の樹高0.3~1.0 mのポット苗が用いられた。表-2に遷移段階・生活形別に分類した調査対象木43種を示す。なお、遷移段階・生活形の区分は森の生態と花修景¹⁸⁾及び日本植生誌¹⁰⁾を参考に分類した。

3.3 解析

3.3.1 活着状況

本研究では植栽木の活着状況や経年変化を把握するために生残率を調べた。植栽直後のH 19年と植栽2~3年後のH 21年の調査データとH 23年の現地調査データを合わせて、各樹種の生残率を算出すると共に、植栽木を先駆種と遷移中・後期種に分けて生残率の推移を比較した。なお、過去のモニタリングで枯死していたと判断され、H 23年調査時で生残が確認された植栽木は、過去のデータにおいても生残とした。

3.3.2 先駆種の優占度と階層構造の発達状況

本研究では先駆種の優占具合と、階層構造ができつつあるかどうかを把握するために、平均樹高の推移、樹高階別本数

分布、樹冠面積を把握し、樹冠投影図を作成した。樹冠面積割合の把握と樹冠投影図の作成は侵入種も含めて行ったが、平均樹高の推移と樹高階別本数分布は H 21 年のモニタリングデータに侵入種が含まれておらず、比較ができないため侵入種は除外して求めた。

1) 平均樹高の推移

H 21 年のモニタリングデータと H 23 年の現地調査データを用いて、樹種ごと及び遷移段階別の樹高成長に違いがあるかを把握することを目的とした。樹高の平均値を用いるため、高木と低木を分けて扱う必要があると考え、植栽木を先駆性高木、先駆性低木、中・後期性高木、中・後期性低木の 4 つに分類し、それぞれの平均樹高を求め、推移を比較した。

2) 樹高階別本数分布

遷移段階別に植栽木の樹高階別本数分布を求めることで、各遷移段階の分布の推移に差があるかを把握することを目的とした。H 21 年のモニタリングデータと H 23 年の現地調査データを用いて遷移段階別（先駆種、中期種、後期種）に 0.5 m の樹高階に振り分け、各樹高階の本数を求め、遷移段階別に比較した。

3) 樹冠面積割合及び樹冠投影図

遷移段階別に植栽木の樹冠面積割合を求めることで、それぞれに差があるかを把握することを目的とした。H 23 年の現地調査で得た樹冠幅データを用いて各パッチにおいて先駆種、中期種、後期種の遷移段階別に樹冠面積割合を算出した。そして、全パッチのデータをもとに各遷移段階の平均値を求め比較した。

樹冠の展開の仕方や先駆種の優占具合を検討するために、樹冠投影図を作成した。調査パッチの縦横の長さを入力し、立木位置 (m)、胸高直径 (cm)、樹冠幅 (m) を入力した CSV ファイルを総合グラフィックソフト花子 ver.1.0.1.21 (ジャストシステム社製) による樹冠投影図作成マクロ (臼田, <http://t-usuda-macro.blog.so-net.ne.jp/2010-03-24-01>) に読み込むことで、自動的に樹冠を描画した。パッチ内の個体を平均樹高より高いものと低いものに分け、さらに平均樹高より高いものは先駆種と非先駆種に分けて投影図を作成した。また、それぞれの樹冠面積割合を算出した。

4. 結 果

4.1 活着状況

表-2 より先駆種のうち生残率が最も高かったのはウツギの 100.0% で、次いでタニウツギ、エノキ、ヤマハゼ、ヤシヤブシの順に高く、生残率が 0.0% のカラスザンショウ、ナワシログミ、ヒメウツギを除いて最も低かったのはヤマハンノキの 14.3% であった。遷移中・後期種のうち生残率が最も高かったのはムクノキ、ヤマコウバシ、ガマズミ、イチイガシ、ケヤキの 100.0% であった。生残率が 0.0% のザイフリボク、ツクバネガシを除いて最も低かったのはコバノガマズミの 29.2% であった。遷移段階別に問わず生残率の高い上位 10 種を見ると、イロハモミジ、イヌシデ及び先に挙げた遷移中・後期種 5 種の合計 7 種が大半を占め、中・

表-2 遷移段階・生活形別に分類した植栽木

Table 2 The seral stages and life forms of the planted trees

遷移段階・生活形	樹 種	植栽本数	生残率 (%) (H 23 年)	平均樹高 (m) (H 21 年)	平均樹高 (m) (H 23 年)
先駆性高木	ウリハダカエデ	21	61.9	2.8	3.4
	ウワミズザクラ	18	61.1	2.2	2.4
	エドヒガン	28	71.4	1.8	4.0
	エノキ	18	88.9	2.4	3.1
	カラスザンショウ	10	0.0	2.1	—
	センダン	9	22.2	2.9	5.3
	ハゼノキ	27	63.0	2.1	3.4
	ヤシヤブシ	24	79.2	4.4	5.6
	ヤマハゼ	42	81.0	2.5	3.0
	ヤマハンノキ	21	14.3	4.3	4.3
先駆性低木	ウツギ	3	100.0	2.5	3.0
	タニウツギ	24	95.8	2.6	3.0
	ツクバネウツギ	3	66.7	1.5	2.5
	ナワシログミ	3	0.0	3.3	—
	ヒメウツギ	3	0.0	1.6	—
	ムラサキシキブ	21	66.7	1.3	1.6
中期性高木	アラカシ	6	50.0	2.2	2.8
	イヌシデ	12	83.3	3.1	4.1
	イロハモミジ	33	87.9	2.6	2.8
	ウリカエデ	14	50.0	2.0	2.2
	エゴノキ	18	66.7	1.7	2.6
	ケヤキ	36	94.4	2.1	2.7
	コナラ	12	75.0	2.3	2.7
	ザイフリボク	3	0.0	—	—
	タムシバ	9	33.3	1.7	2.4
	ダンコウバイ	3	33.3	—	0.9
	ムクノキ	9	100.0	3.0	4.2
	ヤマコウバシ	9	100.0	2.4	2.4
	ヤマザクラ	48	75.0	2.8	3.9
中期性低木	ガマズミ	6	100.0	2.1	2.4
	コバノガマズミ	24	29.2	1.9	1.9
後期性高木	アカシデ	6	50.0	1.4	1.8
	イチイガシ	3	100.0	3.0	3.0
	カゴノキ	9	77.8	2.7	2.8
	シラカシ	9	66.7	1.7	1.9
	タブノキ	9	66.7	1.1	1.1
	ツクバネガシ	3	0.0	—	—
	モチノキ	15	80.0	2.0	2.6
	モッコク	6	83.3	1.5	1.5
	モミ	27	70.4	1.4	2.5
	ヤブツバキ	27	63.0	1.9	1.9
後期性低木	コマユミ	9	66.7	1.1	1.1
	シキミ	6	50.0	0.8	1.2

後期種の生残率が高い傾向が見られた。調査対象木全ての平均生残率の経年変化を見ると、H 19 年、H 21 年、H 23 年の順に 86.9%、82.2%、66.1% であった。先駆種と遷移中・後期種に分けると、H 19 年、H 21 年、H 23 年の順に先駆種が 84.8%、79.9%、60.8%、中・後期種が 89.0%、84.4%、71.3% であった。先駆種も遷移中・後期種も H 19 年から H 23 年にかけて生残率は徐々に低下していることが分かった。

一方で、調査を行った 20 パッチ中 9 パッチ内には侵入種の活着がみられ、イタチハギ等のマメ科の本木が 4 本、ナンキンハゼが 12 本、ウラジログミが 2 本、カラスザンショウが 1 本、計 19 本の侵入種が確認され、数個のパッチに集中する傾向が見られた。

4.2 先駆種の優占度と階層構造の発達状況

1) 平均樹高の推移

植栽後 2~3 年経過した H 21 年調査時の先駆性高木、先駆性低木、中・後期性高木、中・後期性低木の区分で平均樹

図-3 平均樹高の推移

Fig. 3 Changes in tree height from 2009 to 2011

表-3 H 21 年と H 23 の平均樹高と標準偏差

Table 3 Average tree height with standard deviation of 2009 and 2011

遷移段階・生活形	平均樹高±標準偏差 (m)	
	H 21	H 23
先駆性高木	2.7±1.2	3.8±1.4
先駆性低木	1.9±0.6	2.7±0.8
中・後期性高木	2.3±1.0	2.9±1.1
中・後期性低木	1.7±0.8	2.0±0.6

高が最も高かった樹種はそれぞれヤシャブシ 4.4 m, ナワシログミ 3.3 m, イヌシデ 3.1 m, ガマズミ 2.1 m であり (表-2), 各区分の平均樹高はそれぞれ 2.7 m, 1.9 m, 2.3 m, 1.7 m であった (図-3, 表-3)。4~5 年経過した H 23 年調査時に平均樹高が最も高かった樹種はそれぞれヤシャブシ 5.6 m, ウツギ 3.0 m, ムクノキ 4.2 m, ガマズミ 2.4 m であり, 各区分の平均樹高はそれぞれ 3.8 m, 2.7 m, 2.9 m, 2.0 m であった。H 21 年から H 23 年にかけて平均樹高の増加量は先駆性高木が最も大きく, 次いで先駆性低木が大きく, H 23 年調査時点での平均樹高は先駆性高木が最も高く, 次いで中・後期性高木が高かった。また, 各遷移段階の高木と低木には明確な差が見られた。

2) 樹高階別本数分布

H 21 年と H 23 年調査時の樹高階別本数分布を図-4 に示す。植栽後 3~4 年経過した H 21 年調査時の先駆種は 1.5 m と 3.0 m をピークとする二山型の分布を示していた。また, 中期種は 1.5~3.5 m に同程度分布し, 後期種は 1.5 m をピークとする凸型の分布を示した (図-4 a)。それに対して植栽後 4~5 年経過した H 23 年調査時の先駆種は 4.0 m にピークがあり, H 21 年調査時に比べて全体的に樹高階の高い方への移行が伺え, 中期種は 3.0 m と 4.5 m をピークとする二山型の分布を示し, 後期種は主に 1.5~3.0 m に分布していた (図-4 b)。

3) 樹冠面積割合及び樹冠投影図

植栽後 4~5 年経過した H 23 年調査時における 20 パッチの遷移段階別に分類した樹冠面積割合の平均値は, 先駆種, 中期種, 後期種の順に 59.0%, 36.1%, 4.9% であり, 先駆種が各パッチの樹冠面積の 5 割を越えていた。

図-5 の樹冠投影図は代表的なパッチを示したものである。

図-4 H 21 年と H 23 年採石場跡法面の樹高階別本数分布

Fig. 4 Frequency distribution of the trees on the basis of height class on the post-stone pit slope in 2009 and 2011

図-5 H 23 年調査時の H 18 年植栽「採石場跡法面」樹冠投影図

Fig. 5 A crown projection diagram of the post-stone pit slope planted in 2006, surveyed in 2011

表-4 代表的なパッチの樹冠投影図の樹冠面積

Table 4 Canopy area of crown projection; example of a typical patch

樹冠投影図における分類	樹冠面積の平均値 ±標準偏差(m ²)	樹冠面積 割合(%)
平均樹高より高い先駆種(③)	13.9±13.8	46.2
平均樹高より高い非先駆種(④)	5.4±2.5	40.2
平均樹高より低い木本(②)	1.1±1.0	13.6

パッチは全体的に樹冠で覆われ、その中でもセンダンやヤシャブシなどのパッチの平均樹高より高い先駆種が樹冠面積割合の46.2%と5割近くを占めていた(図-5③、表-4)。平均樹高より低い先駆種も含めると、先駆種の樹冠面積割合は50.4%と5割を越えていた。平均樹高より高い非先駆種の樹冠面積割合は40.2%であった。平均樹高より低い木本の大部分は平均樹高より高い木本と比較し、樹冠面積が小さく、樹冠面積割合は13.6%であった(図-5②)。

5. 考 察

5.1 活着状況

樹種ごとの生残率では、イチイガシ、ケヤキやイロハモミジを始めとする遷移中・後期種に分類した樹種が上位を占める傾向が見られた。一方で、先駆種ではヤマハンノキの生残率が14.3%と著しく低く、先駆種の生残率を低下させた要因であると考えられる。ヤマハンノキは巣植えにより7箇所、計21本が植栽されており、7つの巣植えのかたまりのうち4つ全てが3本とも枯れていた。ヤマハンノキは過度の乾燥により枯死が生じる場合があることから¹⁶⁾、南向き斜面と強光条件下にある対象地の立地環境がヤマハンノキに適合していなかったと考えられる。さらに、乾燥により樹勢が衰えたヤマハンノキにカミキリムシ類による虫害が生じ、枯死に至った可能性もある。実際に樹勢の衰えたヤマハンノキがカミキリムシ類の被害に遭うケースも報告されている⁸⁾。今回カミキリムシ類による虫害を明確に確認していないが、ヤマハンノキの樹高がH21年からH23年にかけて変化がなく成長が抑制されていること、虫害を受けた樹木の成長が阻害されるとの報告があること¹⁾などからも、虫害の影響が示唆される。

一方、一般的に成長が速いと考えられているイヌシデ、ケヤキ、ヤシャブシ、ヤマザクラなどは、生残率が調査対象とした樹種の中でも極めて高く、成長が旺盛で、ヤマハンノキとは対照的であった。これは巣植えにより上伸成長が促進されたためと考えられる。しかし、センダンのように成長は良いものの生残率が低い樹種も見られた。図-5の樹冠投影図に記載されているセンダンも植栽当初は3本に巣植えされていたが、現在は1本にまで数を減らしている。これは巣植えにより上伸成長が促進されただけでなく、成長する過程で生育空間をめぐる競争が生じた可能性も示唆される。

以上より、樹種ごとに生残や成長の傾向は異なるものの、樹冠投影図を見ても先駆種がパッチの大部分を被覆している

ことから、先駆種による遷移中・後期種への被陰の効果が期待できる。そのため、対象地が南向き斜面と強光条件下にあるにも関わらず、イチイガシやケヤキなど最終緑化目標群落を形成する遷移中・後期種の多くが生残していると考えられる。

H19年とH21年の過去2回とH23年の計3回行われたモニタリング調査の結果、生残率は徐々に低下しており、H23年調査の際は先駆種が60.8%、遷移中・後期種が71.3%で、両者の平均は66.1%であった。石丸ら⁶⁾が滋賀県田上山において広葉樹緑化試験を行った際の5年経過後の生残率は樹種によって異なるものの、平均的に67.5%であった。また、池田ら⁴⁾が神奈川県宮ヶ瀬ダム法面においてポット苗を利用して広葉樹植栽を行った際の施工後4~5年の生残率は概ね50%であった。さらに関口¹⁵⁾が茨城県の採石場跡法面においてH16年に植栽を行った法面小段では、ヤマハンノキやヤシャブシ等が植栽後5年目で70%以上の生残率であった。本研究と施工地や施工方法が異なるため、一概には比較できないが、小段に比べて斜面部は樹林化が困難であるという実情も踏まえると^{12,13)}、採石場跡法面における生残率の経過は決して悪くないと考えられる。

5.2 先駆種の優占度と階層構造の発達状況

H21年調査時からH23年調査時にかけての樹高成長を樹種ごとに見るとヤシャブシやヤマハゼを含む先駆性高木が最も良く、次いでヤマザクラなどの中・後期性高木の成長が良かった。吉田・古田²³⁾は本研究対象地と同様に植栽後の初期段階におけるヤシャブシ、ヤマハゼやヤマザクラ等の樹高成長が良いことを指摘している。

H21年とH23年調査時の樹高階層別本数分布を比較すると、H21年調査時の先駆種とH23年調査時の中期種は二山型の分布を示しており、H21年調査時に比べて全体的に樹高階の高い方へ移行していた。それに対して、後期種はH21年とH23年とも下層に分布していた。つまり、植栽後2~3年しか経過していないH21年には既に上層には先駆性高木、下層には先駆性低木と遷移中・後期種から成る階層構

写真-1 自然配植技術によって緑化が行われたパッチの一つ

Photo 1 A patch planted using the natural planting method

造が形成されていたと考えられる。市原³⁾は、長野県大村市の切土法面において在来木本類を用いて植生基材吹付工を行った結果、施工約4年後で先駆種が林冠を占有し、複層林が形成されることを指摘している。採石場跡法面はそれ以前の植栽後2~3年で階層構造が形成されており、植栽後4~5年には樹高階の高い方への分布の広がりが確認され、自然配植技術によって早期に階層構造が形成される可能性が示された(写真-1)。

平均樹高の推移や樹高階別本数分布同様、遷移段階別の樹冠面積割合でも各遷移段階に明確な差が見られ、先駆種が各パッチにおいて樹冠面積の5割以上を占めていた。樹冠投影図でもセンダンやヤシバシなどの先駆種が5割近くとパッチの大部分を占めていた。また、平均樹高より低い木本は、平均樹高の推移と樹高階別本数分布から遷移後期種を中心としていることや、先駆種に比べ顕著に低い樹冠面積割合を示していることが分かった。これらのことから、当初の想定通り先駆種が優占しつつあり、初期緑化目標群落へ確実に移行していると考えられる。また、今後植生遷移の進行によって下層に控えている後期種が成長し、最終緑化目標群落を形成すると予想される。

順調に最終緑化目標群落を形成しつつあるかどうかを検討し、各樹種の植栽に適した立地環境や巣植えの影響を始めとする自然配植技術の個々の特徴を証明するためにも、定期的なモニタリングを継続し、コントロール区を設け他の技術との比較を行うことが必要であると考えられる。

6. まとめ

H18~H19年に岩井川ダム道路法面にて自然回復緑化を図ることを目的に、先駆種、遷移中・後期種の混植(通称「自然配植技術」による植栽)がなされた。自然配植技術では、先駆種が優占する初期緑化目標群落が形成された後、遷移中・後期種が優占する最終緑化目標群落へと移行することを想定しており、本研究では前者の群落を形成しているか及び階層構造が発達しつつあるかについて確認した。その結果、生残率は年を経るごとに減少傾向にあり、植栽から4~5年後のH23年調査時には66.1%であった。また、平均樹高の推移、樹高階別本数分布、樹冠面積割合、樹冠投影図から、各遷移段階の高木と低木の間に差があり、主に先駆種と成長の良い中期種が高木層を構成し林冠を覆っていることが分かった。また、後期種は低木層に分布していた。以上のことから、対象地が初期緑化目標群落を形成し、複層林化が進んでいることが示され、今後、植生遷移の進行によって下層に控えている後期種が成長し、最終緑化目標群落を形成すると予想される。

謝辞: 本研究は宮川森林組合(三重県)からの受託研究である「自然配植技術による広葉樹植栽効果の定量的把握」の一環として実施したものである。研究を進めるにあたりモニタリングデータのご提供を頂いた奈良教育大学の松井淳教授、資料閲覧にご協力頂いた奈良土木事務所の梶順彦氏を始めとする多くの方々にこの場をお借りして厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所地域景観ユニット (2011) 北海道の道路緑化に関する技術資料(案), 158 pp.
- 2) 福永健司 (2010) 生物多様性保全に配慮した緑化技術—法面自然回復緑化の考え方—, 日本緑化工学会誌, 36(2): 274-280.
- 3) 市原 悟・久瀬敏明・吉田 寛・宮地洋一・堀江保夫 (2000) 自然景観と公園の要素に配慮したオフィスパーク大村造成工事における法面緑化事例(Ⅱ)—施工約4年目までの植生推移—, 日本緑化工学会誌, 25(4): 495-498.
- 4) 池田 桂・二見肇彦・鈴木隆浩 (2000) 治水ダム工事用道路法面への厚層基材吹付工による木本類導入事例経過報告, 日本緑化工学会誌, 25(4): 517-520.
- 5) 井上芳一 (2010) 淡路夢舞台における造成地回復緑化—岩盤斜面緑化の実態と課題—, 日本緑化工学会誌, 35(3): 417-420.
- 6) 石丸香苗・大澤直哉・武田博清 (2001) 田上山砂防植栽地における広葉樹緑化試験について, 日本緑化工学会誌, 27(1): 283-285.
- 7) 気象庁 (2013) 気象統計情報, 過去の気象データ検索. (<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>)
- 8) 小島圭三・渡辺弘之 (1960) 高知におけるハンノキカミキリの生態について, 日本森林学会誌, 42(10) 359-362.
- 9) 松江正彦 (2010) 道路土工指針の改定と生物多様性, 日本緑化工学会誌, 35(3): 413-416.
- 10) 宮脇 昭編 (1984) 日本植生誌近畿, 至文堂, 596 pp.
- 11) 日本緑化工学会斜面緑化研究部会 (2004) のり面における自然回復緑化の基本的な考え方のとりまとめ, 日本緑化工学会誌, 29(4): 509-520.
- 12) 大竹照光・大塚尚寛・斎藤 貢・阿部洋祐 (2007) 森林表土を利用した露天採掘跡残壁の植生基盤造成に関する基礎的研究, Journal of MMIJ, 123: 329-335.
- 13) 採石技術指導基準編集委員会 (2004) 詳解採石技術指導基準, ぎょうせい, 297 pp.
- 14) 斎藤与司二 (2010) 自然回復緑化事例に基づく検査方法の提案, 日本緑化工学会誌, 35(3): 421-425.
- 15) 関口秀一 (2009) 郷土樹種による採石跡地の早期緑化技術, 茨城県林業技術センター, No. 45: 1-2.
- 16) 島田直明, 藤原一繪 (2001) 原町市東ヶ丘公園予定地の植生¹⁾, 横浜国立大学環境科学研究センター紀要, 27: 57-89.
- 17) 自然配植技術協会 (2007 更新) 自然配植技術協会ニュースレターバックナンバー, 2013. 4. 25 現在.
- 18) 高田研一 (1998) 植物を活かすために, 京都造形芸術大学編, ランドスケープデザイン Vol. 1 森の生態と花修景, 角川書店, pp. 2-79.
- 19) 高田研一 (1999) 自然配植緑化の基本的な考え方, 京都芸術短期大学 [瓜生], 22: 127-139.
- 20) 田中賢治 (2010) 現地採取種子を利用した自然回復緑化の現状と課題, 日本緑化工学会誌, 35(3): 426-429.
- 21) 田内裕之 (2010) 広葉樹林化の目標林型と更新基準, 森林科学, 59: 22-25.
- 22) 山辺正司・藤原辰也 (2000) 道路のり面への侵入種の特性からみた植生工のあり方について, 日本緑化工学会誌, 25(4): 611-614.
- 23) 吉田 寛・吉田智昭 (2004) 切土法面における厚層基材吹付工(斜面樹林化工法)による木本植物群落の造成事例, 日本緑化工学会誌, 29(4): 482-494.
- 24) 吉岡和輝 (2009) 岩井川ダム法面の樹林再生に関する研究, 平成21年度奈良教育大学卒業論文, 43 pp.

(2013. 11. 13 受理)