

漆滲出長と成長・葉特性を用いた漆滲出量の多いクローンの簡易判別

田端雅進^{*1}・井城泰一²・田村美帆³・渡辺敦史³

国宝・重要文化財の保存・修復のために日本産漆の増産や安定供給が不可欠である。しかしながら、漆滲出量の多いクローンはほとんど明らかになっていない。本研究では DNA 分析によって茨城県 7 カ所の分根由来のウルシ林におけるクローン構造を解明し、複数のウルシクローンの漆滲出量を測定した。さらに漆滲出長、成長特性および葉特性と漆滲出量との関連性を調べ、漆滲出量の間接的な評価が可能な指標を探索した。その結果、調査したサイト 1~7 においてクローン A~J の 10 クローンが検出され、検出されたクローン E が全体の約 50% を占め、植栽個体に特定クローンの偏りが生じていた。漆滲出量はクローン間で有意な違いがあり、また胸高直径においてもクローン間差が認められ、胸高直径が大きいクローンで漆滲出量が多かった。また、成長・葉特性についてはサイトが異なってもクローンの順位がほとんど変わらず、10 年生前後から 20 年生の個体を対象に漆滲出量の多いクローンを漆滲出長に加えて胸高直径や葉特性から簡易に判別できると考えられた。

キーワード：ウルシ、クローン、漆滲出量、漆滲出長、成長特性、葉特性

Masanobu Tabata,^{*1} Taichi Iki,² Miho Tamura,³ Atsushi Watanabe³ (2023) Simple Identifying Highly Productive Lacquer Tree (*Toxicodendron vernicifluum*) Clones by Measuring Resin Exudate Length, Tree Growth Traits, and Leaf Characteristics. J Jpn For Soc 105: 87–95 Increased production and a stable domestic supply of tree lacquer from *Toxicodendron vernicifluum* is essential for restoring national treasures and important cultural properties in Japan. Therefore, it is beneficial to identify clones that produce large quantities of lacquer. In this study, we used DNA markers to investigate the clonal structures of lacquer trees originating from roots at seven sites in Ibaraki Prefecture. In addition, we measured the amount of lacquer produced by several tree within each clone group. We determined the relationships between resin exudate length, tree growth traits, and leaf characteristics to find indices that can be used to indirectly estimate the amounts of lacquer produced. In total, 10 clones (A–J) were detected at the sites, with about 50% of individuals belonging to clone E. We found that individual trees with clone groups tended to share characteristics that differed among clones. In particular, the amounts of lacquer production and diameter at breast height (DBH) were significantly different between clones. Clones with larger DBH values produced larger amounts of lacquer. Even at different sites, the growth and leaf characteristics of individuals within each clone group were very similar. Our study suggested that measurement of exuded resin, DBH, and leaf characteristics in individuals around 10–20 years old can be used to identify clones that produce large amounts of lacquer.

Key words: *Toxicodendron vernicifluum*, clone, amounts of lacquer production, resin exudate length, tree growth trait, leaf characteristics

I. はじめに

ウルシ (*Toxicodendron vernicifluum*) の幹に傷を付けて採取される漆は、約 7000 年前に始まる縄文時代前期から漆器などの製作のため、塗料や接着剤として用いられてきた (室瀬 2018)。漆は、内樹皮で生産される樹脂と木部の樹液であり (船田 2020)、現在も漆器の製作や国宝や重要文化財の保存・修復などに用いられ、日本の伝統文化の継承に不可欠である (宮本・角田 2008)。しかし、近年、伝統文化を支える日本産漆の供給が危機的な状況にある。現在、日本で使われている漆は約 36 トンであり、そのうち約 9 割が中国産で占められ、日本産漆はわずか 5% 程度しか生産されていない (農林水産省 2019)。

これまで国宝や重要文化財の保存・修復で使われる漆は、日本産漆と中国産漆を 3:7 の割合に混合し利用されてきた。国宝や重要文化財の保存・修復は、伝統的な手法で保存・修復することによって文化の継承につながる。そこで、日本の伝統文化において象徴的な資材である漆に対し、文

化庁は 2015 年、各都道府県教育委員会に国宝や重要文化財の保存・修復事業で使用する漆は原則として下地も含め、日本産漆を使用する旨を通知し (文化庁 2015)、その後、日本産漆の需要予測調査によって年平均使用量を約 2.2 トンと予測した。しかし、近年の国内の漆生産量は 2 トンに満たないことから (農林水産省 2019)、今後も日本産漆の増産と安定供給が必要な状況となっている。

日本のウルシ林は、主に種子に由来する実生苗と根に由来する分根苗の植栽によって造成されている (田端 2013, 2020)。渡辺ら (2019) は、各地に残存するウルシ林が実生林、または分根由来のクローン林に大別されることを DNA マーカーからも確認されることを報告している。例えば、日本の漆生産量の約 7 割を占める岩手県では実生苗が使われている一方、国内の漆生産第二位で、約 2 割を生産する茨城県では主に分根苗が使用されている (田端 2013, 2020)。実生苗は、一度に多くの苗木生産が可能であり、さまざまな遺伝子が組み合わさった遺伝的多様性の高い林を作るのに貢献するが、遺伝的多様性が高い結果

*連絡先著者 (Corresponding author) E-mail: butter@fripri.affrc.go.jp  <https://orcid.org/0000-0003-1962-190X>

¹ 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所東北支所 〒020-0123 岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷 92-25 (Tohoku Research Center, Forestry & Forest Products Research Institute (FFPRI), 92-25 Nabeyashiki Shimo-Kuriyagawa, Morioka, Iwate 020-0123, Japan)

² 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター東北育種場 〒020-0621 岩手県滝沢市大崎 95 (Tohoku Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center, FFPRI, Oosaki 95, Takizawa Iwate 020-0621, Japan)

³ 九州大学大学院農学研究院 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 (Faculty of Agriculture, Kyushu University, 744 Motoooka, Nishi-ku, Fukuoka, Fukuoka 819-0395, Japan)

(2022 年 3 月 12 日受付; 2023 年 1 月 16 日受理; 2023 年 3 月 1 日発行)

©2023 一般社団法人日本森林学会: この著作はクリエイティブ・コモンズのライセンス CC BY-NC-ND (引用を表示し、改変せず、非営利目的に限定) の条件の元で再配布・二次利用が可能なオープンアクセスです。 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.ja>

として個体間の漆滲出量にばらつきが生じる可能性がある。一方、分根苗は、実生苗に比べ苗木サイズが大きく、優良形質個体を効率的に増やすのに有効であり、クローンであることから生産される漆滲出量の予測が可能であるが、苗木生産数が限られるだけでなく、遺伝的に同一であることから、一度病虫害などが発生すると瞬く間に林内に被害が拡大する危険性がある。

ウルシの幹に傷をつけて傷口から滲出した漆を採取することは“漆掻き”と呼ばれる。漆掻きによって採取される漆滲出量は、1個体当たり平均150~200 gといわれているが(宮腰 2016; 姉帯ら 2018)、個体によって漆滲出量は大きく異なるとされている。個体間で漆滲出量が異なる要因として、胸高直径の関与が古くから指摘されている(高橋 1922)。樋口(1908)や野崎・尾石(1939)は、ウルシ個体の胸高直径と漆滲出量との関係から、胸高直径が大きくなるほど、漆滲出量が多くなることを明らかにしている。高野(1982)は、樹齢10年生で胸高直径10 cmの木よりも樹齢15年生で胸高直径15 cmの個体の方が2.25倍の漆滲出量があり、漆掻きに有利であるとしている。岩手県において漆掻きは掻く木の胸高直径が約10 cmを目途に行われるが(泉私信)、泉(2005)は植栽密度がha当たり約2,500本、樹齢12年で胸高直径がその大きさに達することを明らかにしている。さらに、青森・福島県の報告(岩村 1988; 渡部・青野 1988)では、林齢が11年以下のウルシ植栽地の成長について詳細な調査報告がなされている。しかし、胸高直径が同じであっても、漆滲出量が大きく異なる個体があることも知られており(松田 1985)、胸高直径以外に漆滲出量に影響する要因があることが推測される。船田ら(2019)は、漆滲出量の多いクローンは少ないクローンと比較して、内樹皮の幅や樹脂を蓄積する樹脂道の数と断面積が有意に大きい値を示すことを明らかにし、内樹皮の組織構造の違いが、漆滲出量が多いクローンを選抜する上での良い生物指標になることを報告している。そのため、特に分根由来のクローン林では、成長だけでなくクローン林を構成するクローン構造が林分全体の漆滲出量に影響する可能性が高い。

個体当たり採取できるおおよその漆採取量は知られているものの、漆滲出量のクローン間差が定量的に評価された事例はない。これは現在、利用されているウルシ林のクローン構造が明確ではないことや漆掻き職人によっても採取できる漆滲出量に相違があるとされており(姉帯ら 2018)、環境要因の影響も受けて漆滲出量の再現性が不安定であることに起因する。原田(1938)は、ウルシの樹脂道の形態学的調査と併せて滲出した漆を紙上に採取し、秤量することで漆滲出量を評価している。この方法は、傷をつけることのみで漆滲出量を評価できるため、漆を採取するまでの操作が簡略化され、人為的な誤差が生じにくいと考えられる。

本研究では、まず茨城県の分根由来のウルシ林におけるクローン構造とクローンごとの漆滲出量を明らかにした。次に、漆滲出量に代わる評価法として紙上に採取するのではなく、漆が滲出した長さ(滲出長)と各個体間の漆滲出量

との関係性を明らかにし、漆滲出長による漆滲出量の簡易評価の可能性もしくはその妥当性を検証した。さらに、漆滲出長と成長特性、または葉特性との関係性を明らかにし、これら特性と漆滲出量との関係について評価した。

II. 材 料 と 方 法

1. 調査地の概要と調査木

茨城県常陸大宮市の奥久慈漆生産組合は、茨城県内で約24年前からウルシ分根苗を育成し、常陸大宮市家和楽地区、舟生地区、久隆地区などに分根苗を植栽し、漆掻きができるウルシ林を造成している。調査地は、奥久慈漆生産組合が植栽した茨城県常陸大宮市家和楽地区の5カ所と舟生地区2カ所(サイト1~7)のウルシ林で、調査地の概要は表-1に示した。調査地の斜面方位は南西~東であり、斜面傾斜は1~11.5°、標高は39~179 mであった。調査地の母材は段丘堆積物からなり、有効土壌深は60 cm以上、ウルシを植栽する以前はサイト2と4は牧草地として、残りのサイトは畑地として利用されていた。

2. ウルシ林のクローン構造

1) 供試材料とDNA抽出

供試材料は上記7カ所(サイト1~7)のウルシ林から2014年5月にサイト1から53個体、2017年5月にサイト2から106個体、サイト3から161個体、サイト4から47個体、サイト5から50個体、サイト6から60個体、サイト7から69個体の計546個体の成葉を採取した。供試材料のDNAは改変CTAB法(白石・渡辺 1995)により抽出した。

2) 供試個体のフラグメントサイズ決定

サイト1は既存の7gSSRマーカー(Hiraoka *et al.* 2014)を、サイト2~7は前述のgSSRマーカーに1EST-SSRマーカー(Tv_EST-SSR_01; 渡辺ら, 2019)を加えた8マーカーを利用して遺伝子型を決定した。PCR増幅、キャピラリー電気泳動およびフラグメントサイズの決定は、渡辺ら(2019)に従った。得られた遺伝子型データに基づいて、全てのマーカーで同一対立遺伝子を保有する場合は同一クローンであると判定し、以後、同一クローンは同一ア

表-1. 調査地の概要と調査項目

Summary of the stand conditions and investigation categories at seven sites.

Site	Slope direction	Slope (°)	Elevation (m)	Number of individuals	Categories	Age
1	SW	4.5	133	53	C*, G*, L**, LP*, REL**	12, 20
2	SW	11.5	50	106	C, G, L	13
3	S	10.5	133	161	C, G, L, LP, REL	9~10
4	SW	8.5	88	47	C, G, L	4
5	E	1.0	39	50	C, G, L	10
6	SW	4.5	122	60	C	7
7	SE	7.0	58	69	C	7

C, clone identification; G, growth traits; L, leaf characteristics; LP, amounts of lacquer production; REL, resin exudate length; *, investigation of 12 year-old; **, investigation of 20 year-old.

ルファベットで示した。

3. ウルシクローンの漆滲出量と漆滲出長、成長特性および葉特性の関係

1) 漆滲出量と漆滲出長の測定

一般に漆の採取は、以下のような伝統的技法によって行われる。ウルシの葉が展開する5月下旬～6月上旬を目安に、最初に3 cm程度の傷（刃）を付ける。この1個目の刃付けは“目立て”と呼ばれる。目立ては漆を採取するためでなく、以後の刃を付ける目印となる傷で、その後、6月中旬から7月中旬まで4～10日の間隔で2～7個前後の刃を付けて採取される漆は“初刃漆”と呼ばれる。同様に7月下旬～8月下旬まで8～15個前後の刃を付けて採取される漆は“盛刃漆”，9月上旬～10月中旬まで16～20個前後の刃を付けて採取される漆は“末刃漆”と呼ばれ、区別されている。各刃を付けた後、直ちに滲出した漆が採取される。それぞれ異なる時期に採取される初・盛・末刃漆は品質に違いがあるとされる（姉帯ら 2018）。

漆滲出量は、サイト1に植栽されていた4クローンについてクローン当たり4個体計16個体と、サイト3に植栽されていた6クローンについてクローン当たり3個体計18個体を対象として調査した。本研究におけるこれら異なる時期の漆は、すべて漆掻き職人の富永司氏により伝統的技法に則って採取された。各個体につき、まず地上高約2 mまで片側に4カ所（図-1）、その反対側に4カ所、計8カ所に基準としての目立てがサイト1は2014年6月3日に、サイト3は2021年5月26日に行われた。その後、漆を採取するための刃が調査個体に順次付けられた。本研究では、初刃漆は6月中旬～7月中旬に、盛刃漆は7月下旬～9月上旬に、末刃漆は9月中旬～10月中旬にそれぞれ採取された。初・盛・末刃漆はクローンごとに収集され、クローンごとに漆滲出量を評価した。

漆滲出長は、サイト1はクローン当たり4個体計16個体、サイト3はクローン当たり3個体計18個体を対象として調査した。サイト1においては目立てが2022年6月1日に行われた後、6月28日に、サイト3においては2021年8月26日と10月14日にそれぞれ個体当たり8カ所に刃を付けた後、直ちに付けた刃から滲出した漆の最大の長さ（漆滲出長）を計測し、クローンごとに漆滲出長を評価した。漆滲出長の測定に関わる刃付けも漆掻き職人の富永司氏が行った。

2) 成長特性（胸高直径、樹高）と葉特性（葉長、葉幅）の調査

クローンと成長特性の関係を明らかにするため、サイト1～5で明らかになったクローンの胸高直径および樹高を調査した。調査は2014年3月4日にサイト1を、サイト2～4は2021年3月11～15日に、サイト5は2021年4月8日に行った。各サイトの調査個体数は、サイト1では12年生個体4クローン計20個体、サイト2では13年生4クローン計53個体、サイト3では9年生5クローン135個体と10年生1クローン6個体の計141個体、サイト4では4年生4クローン計47個体、サイト5では10年生3クローン計44個体であり、各サイトの全個体からランダム

に選定した。胸高直径と樹高を調査したクローン別の個体数はJ-Stage 電子付録表-1に示した。

クローンと葉特性（葉長と葉幅）の関係を明らかにするため、サイト1において2022年の6月15日に、サイト2～5において2021年7月19～21日に個体上部から葉を採取した。ウルシの葉は奇数羽状複葉であり、9～15枚の小葉からなっている。測定する葉を統一するため、奇数羽状複葉の中で頂小葉を選び、サイズを測定した。調査個体数は、サイト1では4クローン計14個体、サイト2では4クローン計41個体、サイト3では5クローン計32個体、サイト4では4クローン計43個体、サイト5では3クローン計15個体であり、測定個体はサイト1～5の全個体からランダムに選定した。頂小葉のサイズを測定したクローン個体数の詳細はJ-Stage 電子付録表-2に示した。ウルシ個体から採取した奇数羽状複葉は、研究室に持ち帰った後、各個体それぞれ5枚の頂小葉のサイズ（長さ）を測定した。

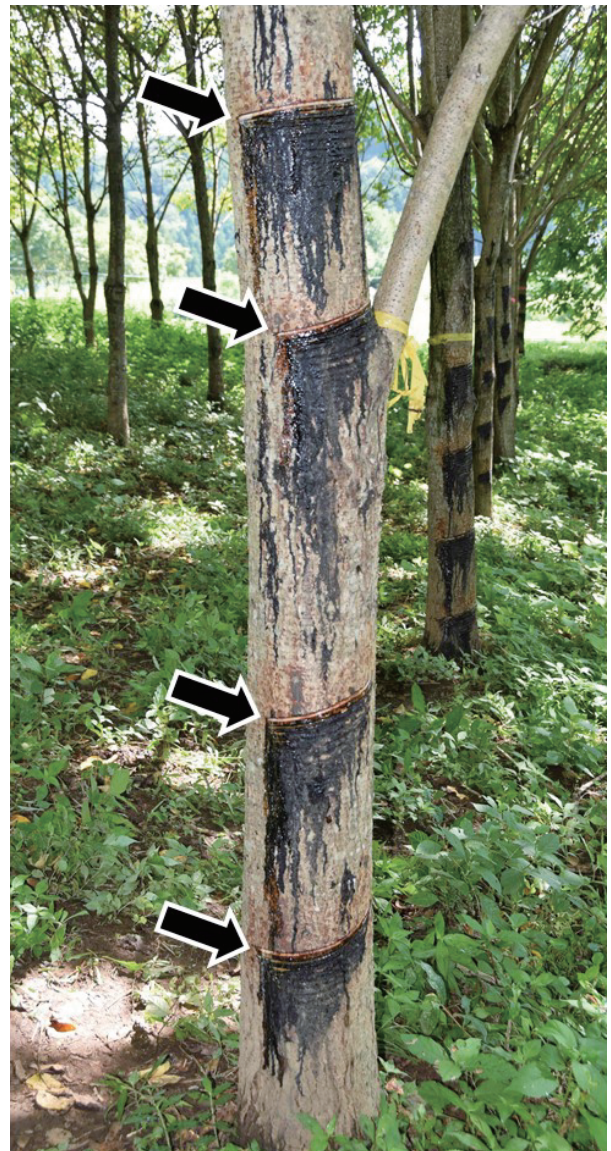


図-1. 漆掻きによる4カ所の傷付け（矢印）
Four wounds (arrow) by urushi-kaki.

3) データ解析

統計解析は R ver4.1.0 (R core team 2021) で行った。各サイトの各形質についてクローン間差を明らかにするため、サイトごとの各測定形質（胸高直径、樹高、頂小葉の長さ、幅および漆滲出長）について Kruskal-Wallis 検定し、FSA パッケージ (Ogle *et al.* 2022) の `dunnTest` 関数を用いて、Benjamini-Hochberg の方法で調整した p 値による多重比較を行った。このとき、危険率は 5% とした。

各クローンの初・盛・末辺漆の漆滲出量、漆滲出長および成長特性と葉特性の各測定値との相関関係は、`psych` パッケージ (Revelle 2021) の `pairs.panels` 関数を用いてピアソンの積率相関係数から算出した。漆滲出量および漆滲出長はクローンごとに平均値を算出し解析に用いた。

漆滲出長は、サイト 1 および 3 で測定した時期が異なるため、サイトごとに解析を行った。漆滲出長の遺伝性を明らかにするため、`lme4` パッケージ (Bates *et al.* 2015) の `lmer` 関数を用いて線形混合モデルで解析を行い、漆滲出長を目的変数、クローンを説明変数（変量効果）として制限付き最尤（Restrict Maximum Likelihood, REML）法により分散成分を推定し、全分散に対するクローンの分散割合を反復率（広義の遺伝率）として算出した。また、`ranef` 関数を用いて各クローンにおける変量効果を出力し、最良線形不偏予測（Best Linear Unbiased Prediction, BLUP）値とした。

成長特性および葉特性の各測定値の遺伝性もまた、`lme4` パッケージ (Bates *et al.* 2015) の `lmer` 関数を用いて線形混合モデルで解析した。各測定形質（胸高直径、樹高、頂小葉の長さおよび幅）を目的変数、サイト（固定効果）、林齢（固定効果）、クローン（変量効果）およびサイトとクローンの交互作用（変量効果）を説明変数とし、各要因の分散成分を REML 法により推定し、全分散に対するクローンの分散割合を反復率（広義の遺伝率）として算出した。また、`ranef` 関数を用いて各クローンにおける変量効果を出力し、BLUP 値とした。

III. 結 果

1. ウルシ林のクローン構造

DNA 分析の結果、サイト 1～7 においてクローン A～J の 10 クローンが検出された（表-2）。サイト 1 は EST-SSR マーカーを使用していないため、識別率が約 38% であり、他のサイトと比べ低かった。検出されたクローンのうち、クローン E は林分全体に 279 個体植栽されており、全体の 51% を占めていた。その他のクローンは 4～52 個体であった。サイト 3, 5, 6, 7 では植栽個体に特定クローンの偏りが確認された。

2. ウルシクローンの漆滲出量と漆滲出長の関係

サイト 1 で明らかになった 4 クローンにおける初・盛・末辺漆の漆滲出量は、初辺漆で最も少なく、盛辺漆で多かった。クローン別ではクローン B, D が多く、クローン A が最も少なかった（表-3）。一方、サイト 3 で明らかになった 6 クローンにおける初・盛・末辺漆の漆滲出量は、初辺漆で最も少なく、盛辺漆と末辺漆で多かった。クローン別

表-2. EST-SSR マーカーと genomic SSR マーカーにより識別されたクローンの検出数

Population of clones detected by EST-SSR and genomic SSR markers at seven sites.

Clone	Site1	Site2	Site3	Site4	Site5	Site6	Site7
A	4						
B	5	5	1	21		1	1
C	7	31	6		7	1	
D	4	1	4	10		1	
E		25	124		31	39	60
F		14	6		3	3	1
G				12			
H		22	8	4			
I			6				
J						4	
Number of individuals	53	106	161	47	50	60	69
Number of detections	20	98	155	47	41	49	62

表-3. 各クローンから採取された初・盛・末辺の漆滲出量
Amounts of lacquer production of Hatsu-hen, Sakari-hen and Sue-hen from ten clones.

Site	Clone	Hatsu-hen (g)	Sakari-hen (g)	Sue-hen (g)
1	A	26	240	114
	B	57	411	217
	C	39	356	196
	D	57	670	363
3	C	28	123	110
	D	58	259	314
	E	13	57	38
	F	22	103	90
	H	56	258	257
	I	31	115	98

Site 1, investigation of four individuals per clone; Site 3, investigation of three individuals per clone.

ではクローン D, H が多く、クローン E が最も少なかった（表-3）。初・盛・末辺漆の漆滲出量は、サイト 1 で 0.81～1.00、サイト 3 では 0.98～0.99 となり、それぞれ高い相関を示した（図-2）。

サイト 1 で 6 月 28 日の辺付けでみられた 4 クローンの漆滲出について、クローン B, D では傷の数カ所から漆が滲出し、クローン A, C では傷の 1～2 カ所で漆が滲出していた。6 月 28 日の平均漆滲出長は 0.7～3.6 cm であり、クローン B, D はクローン A, C に比べて 3 倍以上長く、クローン D はクローン A, C と有意に異なっていた（表-4）。

サイト 3 で 8 月 26 日の辺付けでみられた 6 クローンの漆滲出は図-3 に示した。クローン D, H では傷の数カ所から漆が滲出し、クローン C, F, I では傷の 1～2 カ所で漆が滲出していたが、クローン E では漆の滲出があまりみられなかった。8 月 26 日の平均漆滲出長は 1.3～12.5 cm であり、クローン D, H がクローン C, F, I に比べて約 2 倍以上、クローン E に比べて 9 倍以上長かった（表-4）。10 月 14 日の平均漆滲出長は 0.9～9.9 cm であり、8 月 26 日の漆滲出長と同様の傾向を示し、クローン D, H がクローン C, F, I に比べて 2 倍以上、クローン E に比べて約 7 倍以上長

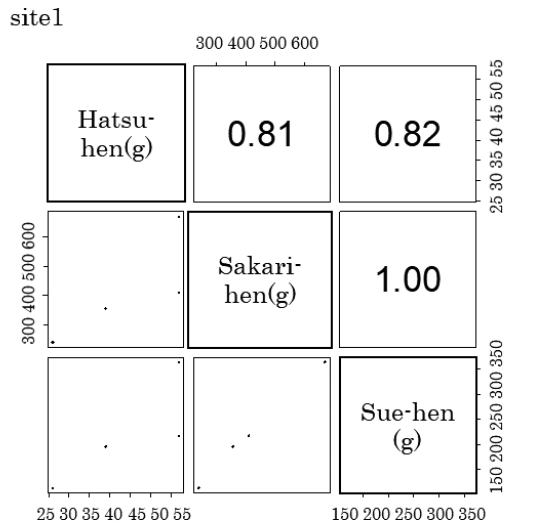


表-4. 各クローンの漆滲出長

Resin exudate length from ten clones.

Site	Clone	REL1 * (cm)	KW		
1	A	0.8 ± 0.6	a		
	B	2.5 ± 0.6	ab		
	C	0.7 ± 0.4	a		
	D	3.6 ± 1.0	b		
Site	Clone	REL2 ** (cm)	REL3*** (cm)	KW	
3	C	4.7 ± 3.0	ab	2.1 ± 0.4	ab
	D	12.5 ± 0.2	b	9.9 ± 1.2	b
	E	1.3 ± 1.8	a	0.9 ± 1.3	a
	F	3.1 ± 1.6	ab	2.9 ± 1.7	ab
	H	11.9 ± 0.6	ab	6.3 ± 1.6	ab
	I	6.8 ± 2.6	ab	2.8 ± 1.3	ab

Values represent the arithmetic mean ± standard deviation. REL, resin exudate length; *, investigation on 28 June; **, investigation on 26 August; ***, investigation on 14 October. KW, Kruskal-Wallis test; Different letters denote significant differences among clones at $P < 0.05$ (Kruskal-Wallis test).

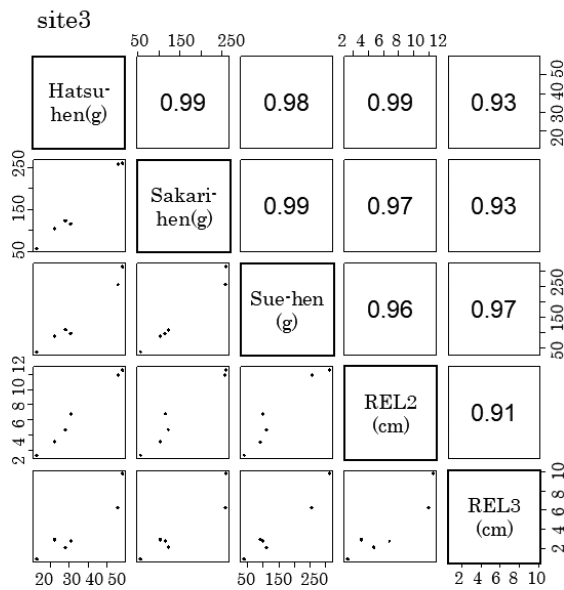


図-2. 漆滲出量と漆滲出長の関係

Relationship between amounts of lacquer production and resin exudate length. The upper triangle shows the correlation coefficient, and the lower triangle shows the scatterplot.

図の上部は相関係数を示し、下部は散布図を示す。
REL, resin exudate length.

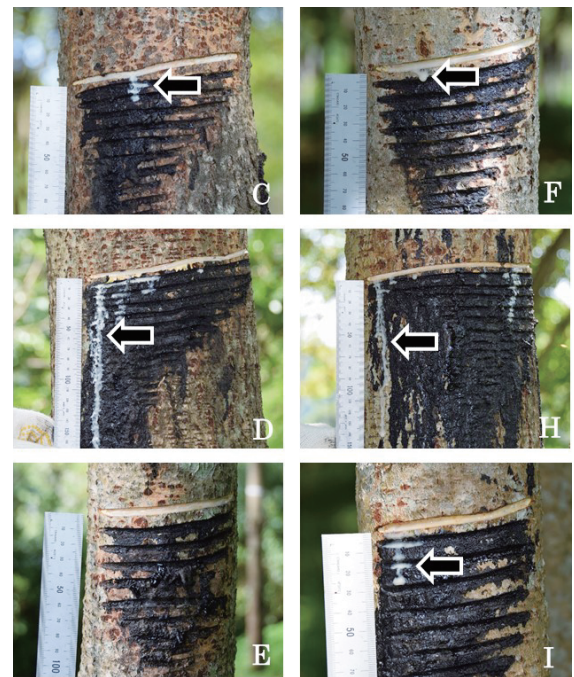


図-3. 8月26日に調査した6クローンの漆滲出 (矢印)
Resin exudate (arrow) among six clones on 26 August.

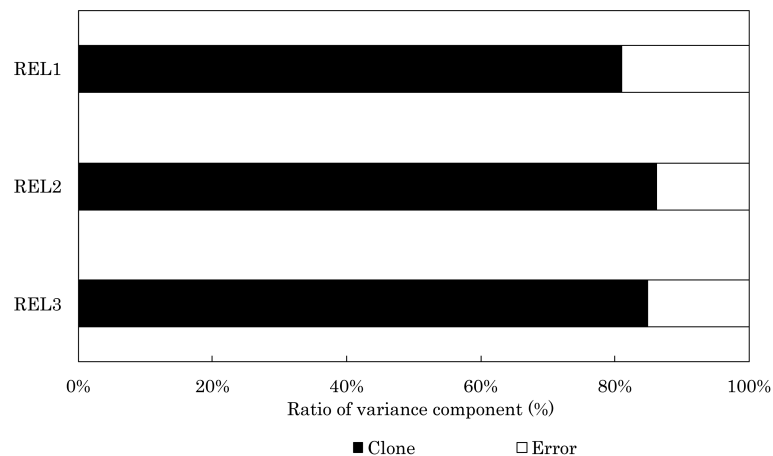


図-4. 各漆滲出長の分散成分の割合

Ration of variance component for resin exudate length (REL).

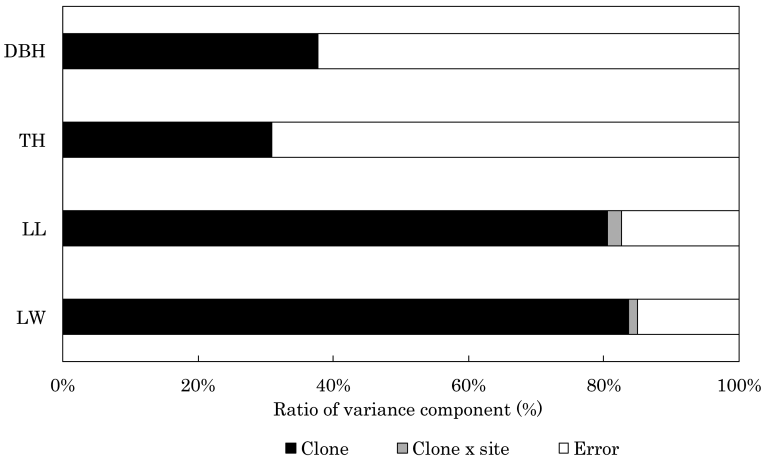


図-5. 各特性の分散成分の割合
Ration of variance component for each trait.
DBH, diameter at breast height ; TH, tree height ; LL, leaf length ; LW, leaf width ; REL, resin exudate length.

表-5. 各クローンの胸高直径，樹高，葉長，葉幅
DBH, tree height, leaf length, and leaf width from twenty-one clones.

Site	Clone	DBH (cm)	KW	H (m)	KW	LL (cm)	KW	LW (cm)	KW
1	A	9.3 ± 1.3	-	6.9 ± 1.1	-	9.7 ± 0.2	a	4.4 ± 0.3	a
	B	10.3 ± 1.5	-	7.1 ± 1.0	-	15.0 ± 1.6	b	8.5 ± 0.9	b
	C	10.8 ± 2.1	-	7.1 ± 1.2	-	10.2 ± 1.1	a	4.7 ± 0.4	a
	D	13.5 ± 3.7	-	6.9 ± 1.1	-	14.3 ± 1.9	b	7.6 ± 0.5	b
2	C	15.3 ± 3.9	-	10.6 ± 1.1	-	11.1 ± 0.6	a	5.0 ± 0.5	a
	E	12.7 ± 2.9	-	8.8 ± 1.0	-	9.8 ± 1.3	a	5.3 ± 0.6	a
	F	12.5 ± 0.6	-	9.1 ± 1.1	-	11.5 ± 1.1	a	5.7 ± 0.7	ab
	H	17.1 ± 3.4	-	10.2 ± 0.8	-	15.7 ± 2.1	b	8.0 ± 1.0	b
3	C	15.2 ± 1.9	-	9.3 ± 0.6	-	12.3 ± 1.0	ab	5.1 ± 0.5	a
	D	19.9 ± 2.8	-	9.5 ± 0.1	-	18.0 ± 0.1	b	8.5 ± 0.2	b
	E	13.9 ± 3.0	-	8.3 ± 0.9	-	10.2 ± 1.0	a	5.4 ± 0.6	a
	F	12.7 ± 2.9	-	8.4 ± 1.2	-	12.0 ± 1.3	ab	5.2 ± 0.7	a
	H	18.0 ± 3.5	-	9.3 ± 1.2	-	15.7 ± 1.1	b	7.8 ± 0.6	b
	I	12.9 ± 2.6	-	7.9 ± 0.7	-	12.8 ± 1.3	ab	6.9 ± 0.8	ab
4	B	4.4 ± 0.9	-	3.2 ± 0.3	-	15.4 ± 1.4	ab	8.2 ± 0.8	a
	D	4.7 ± 0.6	-	3.1 ± 0.3	-	17.4 ± 1.4	b	8.6 ± 0.8	b
	G	4.6 ± 1.0	-	3.8 ± 0.5	-	13.0 ± 0.7	a	6.1 ± 0.5	a
	H	5.2 ± 0.6	-	3.4 ± 0.2	-	13.7 ± 2.6	ab	7.2 ± 1.3	ab
5	C	13.0 ± 3.4	-	8.6 ± 1.2	-	12.0 ± 1.2	-	5.4 ± 0.4	-
	E	10.0 ± 3.1	-	6.2 ± 0.8	-	9.7 ± 0.7	-	5.2 ± 0.5	-
	F	13.5 ± 1.2	-	7.5 ± 0.5	-	11.8 ± 1.1	-	5.6 ± 0.4	-

Values represent the arithmetic mean ± standard deviation. KW, Kruskal-Wallis test; Different letters denote significant differences among clones at $P<0.05$ (Kruskal-Wallis test).

かった。しかし，統計的にはクローン D と E 間にのみ有意差が認められた。

漆滲出量と漆滲出長の関係は図-2 に示した。漆滲出長と初・盛・末辺漆の各漆滲出量は 0.9 を超える高い相関係数を示した。

3. ウルシクローンの漆滲出長と成長特性および葉特性の関係

各サイトにおけるクローンごとの胸高直径と樹高，および葉長と葉幅は表-5 に示した。胸高直径と樹高では，クローンによるばらつきは認められたものの，有意差は認められなかった。葉長と葉幅ではサイト 5 の葉幅で有意なクローン間差は認められなかったが ($p>0.05$)，そのほかのサイトでは有意なクローン間差が認められた。

表-6. 各特性におけるクローンの BLUP 値
BLUP values for each traits.

Clone	DBH	H	LL	LW	REL1	REL2	REL3
A	-0.550	0.149	-1.637	-1.470	-1.075		
B	1.396	0.380	2.887	2.092	0.626		
C	-0.588	0.362	-1.726	-1.386	-1.169	-1.914	-1.925
D	2.450	0.230	3.904	2.032	1.618	5.480	5.415
E	-3.427	-1.436	-3.585	-1.246		-5.092	-3.064
F	-2.385	-0.683	-1.763	-1.054		-3.425	-1.165
G	1.297	0.641	0.209	-0.175			
H	1.808	0.357	1.712	1.206		4.882	2.030
I	0.000	0.000	0.000	0.000		0.068	-1.292

漆滲出長の反復率は高い値を示し，それぞれ漆滲出長 1 で 0.81, 漆滲出長 2 で 0.86, 漆滲出長 3 で 0.85 であった(図-4)。葉特性の反復率は成長特性に比べて高い値を示し，それぞれ胸高直径で 0.38, 樹高で 0.31, 葉長で 0.86, 葉幅では 0.84 であった (図-5)。漆滲出長を除くすべての形質においてサイトとクローンの交互作用の分散成分は 0, もしくはほぼ 0 であり，クローンの分散成分よりも小さかった。

サイト 1 と 3 の漆滲出長は葉特性とそれぞれ高い相関係数を示した (図-6)。胸高直径と樹高，葉長と葉幅もまた，それぞれ高い相関係数を示したが，成長特性と葉特性間では，サイト 3 において胸高直径と葉特性との間でやや高い相関がみられたものの，全体的には高い相関係数を示さなかった。

各特性の BLUP 値は表-6 に示した。漆滲出長 1 では，クローン B および D が高い BLUP 値を示し，その他のクローンは低い BLUP 値を示した。一方，漆滲出長 2, 3 では，クローン D および H が高い BLUP 値を示し，その他のクローンは低い BLUP 値を示した。成長特性では，クローン B, D, G および H が高い BLUP 値を示したが，クローン E および F は低い BLUP 値を示した。また，葉特性では，クローン B, D および H が高い BLUP 値を示したが，他のクローンでは低い BLUP 値を示した。

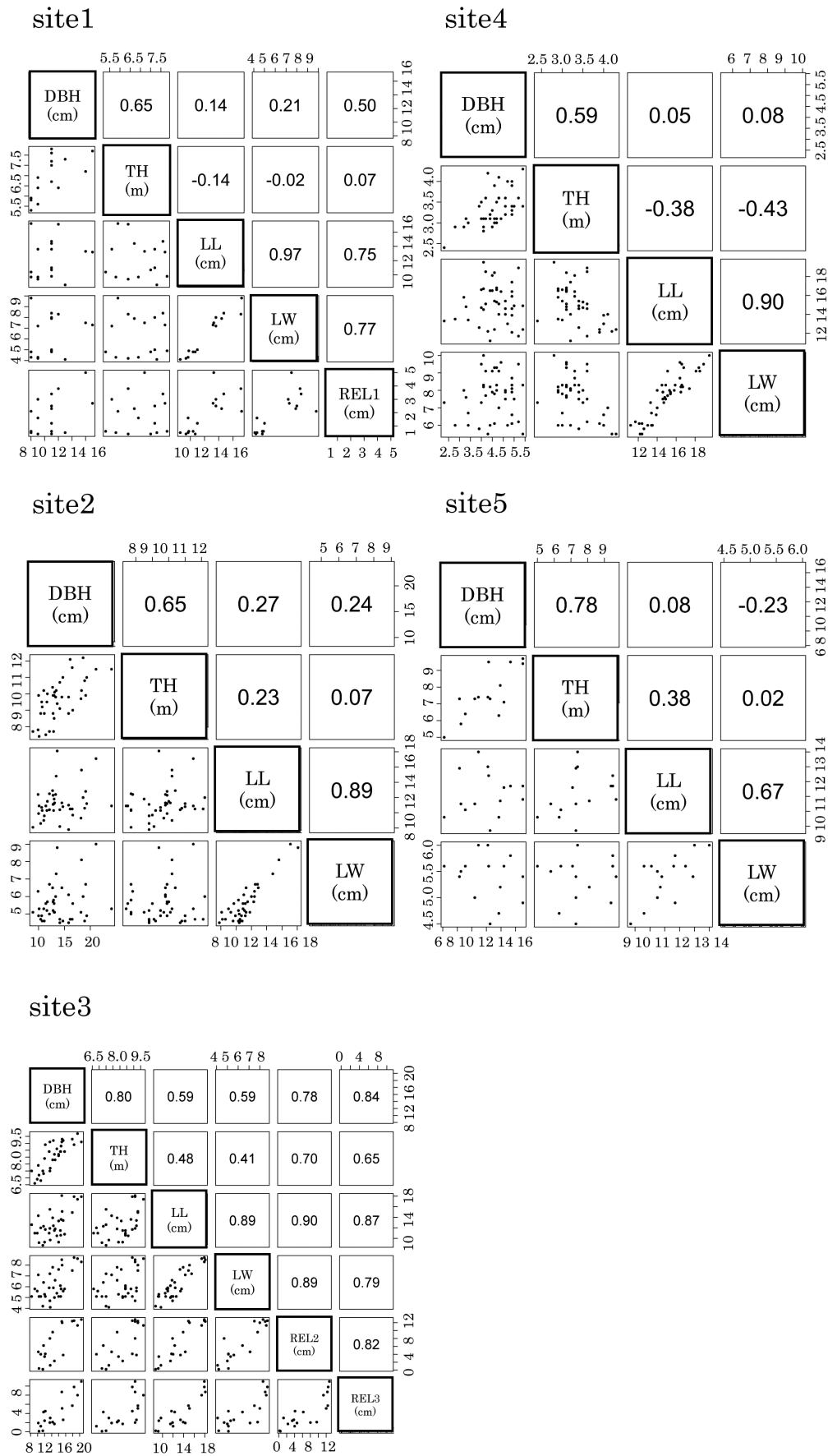


図-6. 各サイトにおける各形質間の散布図および相関係数

Scatterplot and correlation coefficient between each trait at each site.

図の上部は相関係数を示し、下部は散布図を示す。

The upper triangle shows the correlation coefficient, and the lower triangle shows the scatterplot. DBH, diameter at breast height ; TH, tree height ; LL, leaf length ; LW, leaf width ; REL, resin exudate length.

IV. 考 察

1. ウルシクロンの漆滲出量を簡易に推定する評価法の検討

漆掻きの際にウルシの胸高直径は、漆滲出量と関係する要因として重要と考えられてきた(高野 1982)。樋口(1908)や野崎・尾石(1939)は、ウルシ個体の胸高直径と漆滲出量との関係から、胸高直径が大きくなるほど、漆滲出量が多くなることを明らかにしているほか、個体間で漆滲出量が異なる要因として、胸高直径の違いが関与していることが指摘されている(高橋 1922)。今回の調査結果では、漆滲出量には多いクローンと少ないクローンで有意なクローン間差が認められ、漆滲出量はクローンに依存することが明らかになった。さらに、漆滲出量と漆滲出長および漆滲出長と胸高直径は高い相関関係を示した。しかし、胸高直径と漆滲出長の相関はサイト3では、0.78 および 0.84 と高いことが示されたが、サイト1では0.5 となりそれほど高くなかった。さらに、クローン間の胸高直径の多重比較検定では全てのサイトのクローン間で有意差が認められなかった。林齢が進んだサイト1では、漆滲出長との関係を検証する適切な林齢ではなかった可能性がある。そのため、今後も、胸高直径と漆滲出量および漆滲出長との関係については樹齢や植栽密度なども含めた解析が必要である。

漆滲出長との相関は葉特性と高い傾向を示した。スギでは胸高直径および樹高の反復率が、それぞれ0.37 および 0.29 (田村ら 2006)、*Eucalyptus grandis* では0.13～0.22 (Osorio *et al.* 2003)、0.37～0.41 (Lambeth *et al.* 1994) となっており、これらの形質は植栽場所や植栽密度などの環境要因が影響すると考えられている。今回のウルシクロンの胸高直径および樹高の反復率は、それぞれ0.38 および 0.31 であり、他樹種と同程度であった。胸高直径や樹高に比べ、葉特性は反復率も高く、かつ交互作用がなく、漆滲出量や漆滲出長との相関も高くなっている。クローンごとの漆滲出量の把握は、ウルシ林の造成を行う上で評価すべき形質であり、本研究の結果から、漆滲出量の反復率は高く、胸高直径や樹高と比較して特性は安定していると考えられる。さらに、漆滲出量の指標としては、葉特性の方が胸高直径より精度が高く、葉は当年生からつけるため、胸高直径以上に漆滲出量の早期判定の指標になる可能性がある。

上記で示したように漆滲出量がクローン特性であるとすれば、産業として考えた場合に喫緊に行うべき課題は、クローンごとの漆滲出量における定量評価の確立である。しかし、漆滲出量はクローン間で異なるだけでなく、漆掻きを行う職人によっても変わるといわれている(姉帯ら 2018)。さらに、1 個体当たりから採取できる量は150～200 g と少量であり(宮腰 2016; 姉帯ら 2018)、環境によっても変動することから再現性を得ることは難しい。そのため、クローンごとに漆滲出量の絶対量評価の確立が最善であるものの、同一条件で相対的にでもクローン間の漆滲出量の評価法が考案されれば、クローン単位での漆滲出量を評価できる第一歩となる(渡辺 2021)。サイト1や3では漆滲出量と漆滲出長の関係が林齢によらず安定しているこ

とが調査で明らかになっている(田端 私信)。本研究では、調査したサイト1の4クローンとサイト3の6クロンの漆滲出量と漆滲出長は同じ傾向がみられた。漆滲出量と漆滲出長は高い相関を示し、漆滲出長の測定は時期を変えても指標となりうる可能性が高いと考えられた。漆滲出長の個体間差は小さく、漆滲出長調査は簡易に漆滲出量を評価するための有効な手法となる可能性が高い。さらに、図-6 と表-6 に示したとおり、漆滲出長と胸高直径および葉特性で高い相関係数を示した。これまで漆滲出量は実生苗由来の15～20年生のウルシに対し漆掻きで評価されてきたが(姉帯ら 2018)、今回の調査結果から、10年生前後から20年生の個体を対象に漆滲出量の多いクローンと少ないクローンを漆滲出長に加えて胸高直径や葉特性から簡易に判別できると考えられた。今後は5年生以下の若齢クローンや反対により高齢クローンなどを対象に、漆滲出長や葉特性など胸高直径以外の特性評価を加えることによって漆滲出量の予測精度の向上が可能かどうか検討する必要がある。

2. 分根由来のウルシ林の造成と今後の課題

分根苗が植栽された7サイトで546 個体をDNA 分析した結果、これら林分にはA～Jの10 クローンで構成されていることが明らかになった。クローン林は漆滲出量の予測や優良クロンの利用により高い生産効率を示す可能性がある一方、病虫害が発生した場合、林分全体に被害が蔓延する危険がある。クローン苗を利用するユーカリでは、将来の未知の危機を回避するため20 クローン程度で林分が維持されている(Griffin 2014)。しかし、調査地ではクローンEが全体の5割以上を占めており、サイト3, 5, 6, 7において特定のクローンに対する偏りが認められた。近年、茨城県のウルシ林で疫病による集団枯損が発生し(升屋ら 2019)、防除対策が行われなかった場合にはウルシ林の衰退が危惧されている。茨城県のウルシ植栽地において疫病による集団枯損のリスクを回避するためには、植栽クロンの不均一性を解消することや、生産効率は低下するものの、実生個体を一定数入れておくことが重要である。疫病だけでなく、地球温暖化が懸念される中、茨城県では西南日本以上に高温による影響を受ける可能性があり、漆滲出に悪影響を及ぼす可能性を考えた植林を考える必要がある。

分根による苗育成の難易や発根率の良否は、苗木生産業者の立場からすればきわめて重要な観点である。今回、調査したこれらの林分ではEクローンが全体の個体数の半分以上を占めており、苗育成の難易が低いクローンである可能性がある。特にサイト6と7ではEクローンが8割以上を占めていた。しかし、Eクロンの漆滲出量は、調査林分の中で最も少ないクローンであった。漆生産にとって最も重要な観点は、漆滲出量であることを考えれば、漆滲出量の少ないクローンで構成された林分では、期待されるほどの生産効率を見込むことは難しく、単一林分で漆生産量が期待以上に少なくなる。今後は効果的に生産効率を向上させるため、漆滲出量の多いクロンのリスト化、さらにクローン林が潜在的に持つリスク回避に向けた苗木選択が必要となる。さらに、漆滲出量の多いクローン由来の

実生苗の育成についても並行して行うことができれば、将来に向けた日本産漆の安定供給と生産効率の向上を図るウルシ林の造成が可能であると考えられる。

謝 辞

本研究は、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業（現イノベーション創出強化研究推進事業，課題番号：28027C「課題名：日本の漆文化を継承する国産漆の増産，改質・利用技術の開発」）およびJSPS 科学研究費（課題番号：19H00551，課題名：「シグナル物質の作用機序とラッカーゼの構造解析による高品質漆生成技術の開発」）の助成を受けて実施した。奥久慈漆生産組合長神長正則氏，漆掻き職人富永司氏，NPO 法人杓木呂の会理事長本間幸夫氏，森林総合研究所東北支所上川原直子氏には，調査地の情報提供や調査に多大なご協力をいただいた。また，森林総合研究所林木育種センター九州育種場松永孝治博士には，統計処理に関するご助言をいただいた。ここに記して深甚の謝意を表する。

本論文に関して，開示すべき利益相反関連事項はない。

引用文献

- 姉帯敏美・竹内義浩・田端雅進（2018）漆の採取（漆掻き）。（地域資源を活かす生活工芸双書 漆1 漆掻きと漆工 ウルシ利用，室瀬和美・田端雅進監修，農山漁村文化協会），126-131
- Bates D, Maechler M, Bolker B, Walker S (2015) Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. J Stat Softw 67: 1-48
- 文化庁（2015）「国宝・重要文化財（建造物）保存修理における漆の使用方針について」平成 27 年 2 月 24 日付（26 庁財第 510 号）
- 船田 良・保坂路人・山岸祐介・塚田健太郎・Md Hasnat Rahman・田端雅進・半 智史（2019）漆生産量の異なるウルシにおける樹皮の組織構造の解剖学的解析。日林誌 101: 305-310
- 船田 良（2020）樹皮の組織構造。（地域資源を活かす生活工芸双書 漆2 植物特性と最新植栽技術，田端雅進・橋田光監修，農山漁村文化協会），14-20
- Griffin AR (2014) Clones or improved seedlings of *Eucalyptus*? Not a simple choice. Int For Rev 16(2): 216-224
- 原田盛重（1938）日本産 *Rhus* 属樹種の有する樹脂道の分布並に構造に就て。九州帝国大学農学部学芸雑誌 8: 139-153
- 樋口修平（1908）漆液採集試験第二回報告。林業試験報告 5: 145-164
- Hiraoka Y, Hanaoka S, Watanabe A, Kawahara T, Tabata M (2014) Evaluation of the growth traits of *Toxicodendron vernicifluum* progeny based on their genetic groups assigned using new microsatellite markers. Silvae Genet 63: 267-274
- 岩村良男（1988）薬用等原木林育成技術に関する研究—青森県林試報告 38: 56-86
- 泉 憲裕（2005）岩手県におけるウルシの生長経過。第 10 回東北森林科学会大会講演要旨集：77
- Lambeth C, Endo M, Wright J (1994) Genetic analysis of 16 clonal trials of

- Eucalyptus grandis* and comparisons with seedling checks. For Sci 40: 397-411
- 升屋 勇人・田端雅進・市原 優・景山幸二（2019）*Phytophthora cinnamomi* によるウルシ林の衰退—国産漆の新たな脅威—。日林誌 101: 318-321
- 松田氏淑（1985）ウルシの生長と採漆量。新潟県林業試験場研究報告 27: 33-44
- 宮腰哲雄（2016）漆学 植生，文化から有機化学まで。明治大学出版会
- 宮本真希子・角田 新（2008）『六角紫水展：「国宝」を創った男』。六角紫水展実行委員会
- 室瀬和美（2018）漆利用の歴史。（地域資源を活かす生活工芸双書 漆1 漆掻きと漆工 ウルシ利用，室瀬和美・田端雅進監修，農山漁村文化協会），19-34
- 野崎伸三・尾石元興（1939）漆液採取試験。朝鮮総督府林業試験場報告 30: 1-85
- 農林水産省（2019）平成 31 年特用林産基礎資料。http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokuyo_rinsan/
- Ogle DH, Doll JC, Wheeler P, Dinno A (2022) FSA: Fisheries Stock Analysis. R package version 0.9.3, https://github.com/fishR-Core-Team/FSA.
- Osorio LF, White TL, Huber DA (2003) Age-age and trait-trait correlations for *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden and their implications for optimal selection age and design of clonal trials. Theor Appl Genet 106: 735-743
- R Core Team (2021) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/
- Revelle W (2021) psych: Procedures for Personality and Psychological Research, Northwestern University, Evanston, Illinois, USA, https://CRAN.R-project.org/package=psych Version=2.1.6
- 白石 進・渡辺敦史（1995）*rbcL* 遺伝子多型を利用したアカマツとクロマツの葉緑体ゲノム識別。日林誌 77: 429-436
- 田端雅進（2013）ウルシの健全な森を育て，良質な漆を生産する。森林総合研究所 第 3 期中期計画成果 3（育種・生物機能 -1）http://www.flpri.affrc.go.jp/pubs/
- 田端雅進（2020）ウルシ林造成のための苗の育成。（地域資源を活かす生活工芸双書 漆2 植物特性と最新植栽技術，田端雅進・橋田光監修，農山漁村文化協会），33-37
- 高橋憲三（1922）漆液ノ漆液溝ニ於テ。林試報告 22: 87-105
- 高野徳明（1982）漆の木—苗木づくり・植栽・撫育管理・かき取り作業—。岩手県林業改良普及協会
- 田村 明・栗延 晋・武津英太郎・飯塚和也（2006）スギ精英樹クローンにおける炭素貯蔵量の選抜効果の試算。日林誌 88: 15-20
- 渡部正明・青野 茂（1988）薬用等原木林育成技術。福島県林試研報 21: 108-113
- 渡辺敦史・田村美帆・泉湧一郎・山口莉未・井城泰一・田端雅進（2019）DNA マーカーを利用した日本に現存するウルシ林の遺伝的多様性評価。日林誌 101: 298-304
- 渡辺敦史（2021）ウルシ林の遺伝資源管理の実態と品種改良に向けて。森林科学 93: 3-6