

PRINT ISSN 0916-4405  
ONLINE ISSN 2189-9363

# 森林総合研究所研究報告

Vol. 22 No. 1 (No. 465)

## BULLETIN

of the  
Forestry and  
Forest Products  
Research Institute



March 2023

国立研究開発法人 森林研究・整備機構

森林総合研究所

Forestry and Forest Products Research Institute



# 森林総合研究所研究報告編集委員会

## 編集委員長

服部 力

Tsutomu HATTORI

The Chief Editor

研究ディレクター

Principal Research Director, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

## 副編集委員長

松本 麻子

Asako MATSUMOTO

The Vice-Chief Editor

広報普及科長

Public Relations Division, FFPRI

## 編集委員

相川 拓也

Takuya AIKAWA

Editors

東北支所

Tohoku Research Center, FFPRI

藤井 佐織

Saori FUJII

森林昆虫研究領域

Department of Forest Entomology, FFPRI

古澤 仁美

Hitomi FURUSAWA

立地環境研究領域

Department of Forest Soils, FFPRI

長谷川 陽一

Yoichi HASEGAWA

樹木分子遺伝研究領域

Department of Forest Molecular Genetics and Biotechnology, FFPRI

櫃間 岳

Gaku HITSUMA

森林植生研究領域

Department of Forest Vegetation, FFPRI

石橋 靖幸

Yasuyuki ISHIBASHI

北海道支所

Hokkaido Research Center, FFPRI

鹿又 秀聡

Hidesato KANOMATA

林業経営・政策研究領域

Department of Forest Policy and Economics, FFPRI

村上 亘

Wataru MURAKAMI

森林防災研究領域

Department of Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, FFPRI

野口 正二

Shoji NOGUCHI

国際農林水産業研究センター

Japan International Research Center for Agricultural Sciences

奥田 史郎

Shiro OKUDA

植物生態研究領域

Department of Plant Ecology, FFPRI

高野 麻理子

Mariko TAKANO

森林資源化学研究領域

Department of Forest Resource Chemistry, FFPRI

坪村 美代子

Miyoko TSUBOMURA

林木育種センター

Forest Tree Breeding Center, FFPRI

山田 利博

Toshihiro YAMADA

東京大学大学院農学生命科学研究科・農学部

Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

山下 香菜

Kana YAMASHITA

木材加工・特性研究領域

Department of Wood Properties and Processing, FFPRI

安田 幸生

Yukio YASUDA

森林防災研究領域

Department of Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, FFPRI

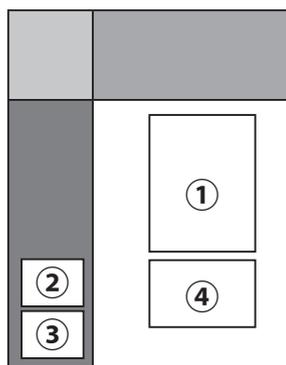
吉田 智佳史

Chikashi YOSHIDA

林業工学研究領域

Department of Forest Engineering, FFPRI

This journal is indexed in CAB Abstracts.



## 表紙写真 Photographs in Cover

① 北海道支所実験林のウダイカンパ（札幌市）

Monarch birch at Hitsujigaoka experimental forest of Hokkaido Research Center in Sapporo City

② 接着重ね材パネルを壁柱として用いた構造の熊本県立球磨工業高校図書室

Library using wall pillar structure of glued laminated timber in Kumamoto Prefectural Kuma Technical High School

③ 自動撮影カメラにより撮影されたエゾシカの若いオス（北海道夕張市）

A young male Yezo deer photographed by an automatic camera in Yubari City, Hokkaido

④ [本文35-40ページ] スギ人工林伐採地におけるサシバ*Butastur indicus*のメス成鳥

An adult female of grey-faced buzzard *Butastur indicus* at the clear-cut of cedar plantation

# 森林総合研究所研究報告 第22巻1号(通巻465号) 2023.3

## 目次

### 論文

- 岐阜県郡上市における高齢スギ人工林のサイズ分布特性  
宮本和樹、荒木眞岳、山川博美、中尾勝洋、  
粟屋善雄、渡邊仁志、久田善純…………… 1

### ノート

- バカマツタケ菌糸体から厚壁孢子形成能を維持した菌株を  
選抜する半流動培地(英文)  
村田仁、中村慎崇、太田明、市田裕之…………… 13

### 研究資料

- シカによる剥皮食害を受けたエゴノキ(*Styrax japonicus*)の  
樹皮と木部の顕微鏡観察  
藤井智之…………… 17

- 林木育種における人工交配に使用する花粉銃の作成  
松永孝治…………… 29

- スギ幼齡人工林におけるオオコノハズクとサシバの確認事例  
山浦悠一、先崎理之、河村和洋、大谷達也…………… 35

- 訂正…………… 41

森林総合研究所研究報告の基本方針

# Bulletin of the Forestry and Forest Products Research Institute

Vol. 22 No. 1 (No.465) March 2023

## CONTENTS

### *Original article*

- Size distribution characteristics of old-growth Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) plantations in Gujo city, Gifu Prefecture, Japan  
Kazuki MIYAMOTO, Masatake G. ARAKI, Hiromi YAMAGAWA,  
Katsuhiro NAKAO, Yoshio AWAYA, Hitoshi WATANABE and  
Yoshizumi HISADA ..... 1

### *Note*

- A semisolid plate method to isolate mycelia maintaining chlamydospore formation in *Tricholoma bakamatsutake*  
Hitoshi MURATA, Noritaka NAKAMURA, Akira OHTA and  
Hiroyuki ICHIDAI ..... 13

### *Research record*

- Anatomy of bark and xylem of Egonoki (*Styrax japonicus*) suffering from bark-stripping by sika deer  
Tomoyuki FUJII ..... 17
- Developing a pollen gun for artificial crossing in forest tree breeding  
Koji MATSUNAGA ..... 29
- Observation of Japanese scops-owls and a grey-faced buzzard in a Japanese cedar plantation at an establishment stage  
Yuichi YAMAURA, Masayuki SENZAKI, Kazuhiro KAWAMURA  
and Tatsuya OTANI ..... 35

- Erratum* ..... 41

## 論文 (Original article)

# 岐阜県郡上市における高齢スギ人工林のサイズ分布特性

宮本 和樹<sup>1)\*</sup>、荒木 眞岳<sup>2),3)</sup>、山川 博美<sup>4)</sup>、中尾 勝洋<sup>5)</sup>、  
粟屋 善雄<sup>6)</sup>、渡邊 仁志<sup>7)</sup>、久田 善純<sup>7)</sup>

### 要旨

高齢スギ人工林における個体のサイズ分布特性を明らかにするため、岐阜県郡上市のスギ人工林を対象に林分の多点調査を実施した。80年生以上の高齢人工林は1000 m<sup>3</sup>/ha前後の林分材積を有していた。サイズ不均質性の指標である変動係数およびサイズ非対称性の指標である歪度を用いて、林分の混み合い度(収量比数)とこれらの指標との関係を見ると、同じ混み合い度でも高齢林は壮齡林と比較して直径と材積の変動係数が有意に高かった。また、高齢林における直径の歪度はゼロに近い値が多く、正規分布に近い分布を示していたが、材積の歪度は正の値が多くみられ、右裾広がり分布を示していた。以上の結果から、郡上市の高齢スギ人工林は比較的高い林分蓄積量を有していると考えられ、個体のサイズ不均質性やサイズ非対称性が高い傾向がうかがえた。このことから、立木密度が低く個体サイズの格差が大きくなった高齢林では、個体ごとの管理が重要であると考えられた。

キーワード：高齢人工林、サイズ構造、変動係数、歪度、収量比数

### 1. はじめに

我が国の人工林のうちの50%が50年生を超え、本格的な利用期を迎えている(林野庁2020)。近年の施策としては間伐の推進から主伐(皆伐)と再造林の推進へと転換が図られ、伐採、搬出、育苗、植栽、初期保育について低コスト化、高度化が進められている(中村ら2019)。しかし、収益性の低さと担い手不足などの理由から森林所有者の主伐実施への意欲は依然として低いままである(中村ら2019)。このため、林業の現場は仕方なく長伐期化、高齢化に向かっている(全国林業改良普及協会2006)。増加する高齢人工林に対して適切な管理を行っていくためには、まず高齢人工林の特徴をとらえることが重要であろう。

日本の人工林の多くは、同一時期に苗木の植栽が行われる一斉林であるため、齢構造を考える必要がない(國崎2016)。そのため、人工林の林分構造は植栽木のサイズ構造により代表される。特に、幹直径のサイズ構造は林業における径級分布と直接関係し、必要な径級の材がその人工林からどれだけ供給できるのかといった潜在的な供給力を把握するために重要である。

人工林における植栽木のサイズ構造の特徴を簡便に把握するため、様々なサイズ分布指標が考案されている。このうち、サイズ不均質性を表す指標としては、変動係

数やジニ係数が用いられ、サイズ非対称性を表す指標としては、歪度などが用いられる(Bendel et al. 1989)。これらのサイズ分布指標は林齢にともない値が変化することが報告されている(田中1983, 1992a, 國崎2001)。サイズ不均質性の指標である変動係数の場合、短期的には自己間引きの顕著な時期に減少するが、長期的には林齢とともに微増すると報告されている(國崎2001)。また、サイズ非対称性の指標である歪度の場合、林齢とともに直径分布が相対的にサイズの大きい方への歪み(正の歪み)が強まるという報告(家原1991)がある一方、相対的にサイズの小さい方への歪み(負の歪み)が強まる事例(田中1983)や林齢に関わらず歪度が正の値で安定するという事例も報告されている(田中1992a, b, 國崎ら1999)。このような林齢にともなうサイズ分布指標の変化は、その時々林齢における人工林の管理、特に間伐による林分の混み合い度の変化に影響を受けていると考えられる。しかし、林齢に加えて収量比数などの林分の混み合い度にもなうサイズ分布指標の変化とその要因については十分な知見が得られていない。

本研究の目的は、直径、樹高、材積のそれぞれについてサイズ分布指標として変動係数と歪度を用いることにより、主に壮齡スギ人工林との比較から高齢スギ人工林におけるサイズ構造の特性を明らかにすることである。

原稿受付：令和3年6月11日 原稿受理：令和4年11月8日

1) 森林総合研究所 森林植生研究領域

2) 森林総合研究所 植物生態研究領域

3) 林野庁 研究指導課

4) 森林総合研究所 九州支所

5) 森林総合研究所 関西支所

6) 岐阜大学 流域圏科学研究センター

7) 岐阜県森林研究所

\* 森林総合研究所 森林植生研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里1、E-mail: mkazuki@affrc.go.jp

なお、林分の混み合い度の指標として収量比数の違いに着目した。また、本研究では、森林率および従来の主伐期を迎えた人工林面積の割合が共に高い岐阜県郡上市のスギ人工林を事例として用いた。

## 2. 調査地と方法

### 2.1 調査地

本研究の調査地は岐阜県郡上市のスギ人工林である。各林分の間伐履歴の詳細は不明であるが、郡上市の南部は藩政時代からの林業地域であり、林業遺産として認定された星宮神社の社叢林など管理された人工林がみられる(日本森林学会 2018)。郡上市は岐阜県のほぼ中央部に位置し、太平洋と日本海いずれからも離れた内陸部である。1991～2020年までの年平均気温と年降水量は、北部の長滝で11.6°Cと3075 mm、南部の八幡で12.8°Cと2690 mmである(気象庁 2021)。郡上市の北部は南部と比べて12～3月の降雪量が多い。標高は110～1810 mまでの範囲で標高差が大きく、急峻な地形が多くみられる。郡上市の森林面積は92,424 haで土地面積の89.7%を占める。森林面積の97%は民有林であり、そのうちの55%が人工林である(河合 2018)。樹種構成としては、スギとヒノキがいずれも民有林面積の27%を占めている。

### 2.2 調査方法

本研究では、森林簿情報に基づき林齢を特定し、若齢～高齢まで異なる林齢のスギ人工林において、スギ植栽木を最低20本以上含むように半径11～23 mの円形プロットによる調査を実施した。調査地の選定にあたっては、全体として林分構造や地形、林内の植生などの状況が一般的な場所を選ぶようにした。まず、2016年10～12月に12～115年生のスギ人工林21カ所で毎木調査を実施した。この調査では、80年生を超える高齢人工林は1カ所のみであったため、2019年7～8月に82～115年生スギ高齢人工林16カ所で毎木調査を実施した。プロット内のスギ植栽木および林冠部に到達している一部の他樹種(ヒノキ、アカマツ、ゴヨウマツ、モミ、ホオノキ、ケヤキ、その他広葉樹)について幹の胸高直径を得るための胸高周囲長および樹高を測定した。胸高周囲長については2016年、2019年いずれもスチールメジャーを用いてプロット内の全対象個体を測定した。樹高については2016年の調査ではVertex Laser(ハグロフ社)を用いて全対象個体を測定し、2019年の調査では半数以上の個体を対象として測定した。胸高直径のサイズ分布をみると、スギ以外の樹種の分布は小径木に多く、また、胸高断面積合計に基づくスギ以外の樹種の相対優占度は0.0～14.0%で10%未満のものがほとんどであった(Fig. S1-S3)。このため、スギのサイズ分布へのスギ以外の樹種の影響は小さいと考えられた。したがって、平均直径、平均樹高、林分材積やサイズ分布特性としての変動係数、歪度といった林分の特性値の算出については、スギ植栽

木のみを対象とすることとした。なお、若齢林と高齢林については郡上市北部と南部の地点がほぼ半数ずつであるが、壮齢林では北部の林分のみであることから、林分特性の地域差に関する評価を行うことはできなかった。

### 2.3 データ解析

2019年の追加調査において樹高は全木調査ではないため、胸高直径と樹高の関係を林分ごとに拡張相対成長式(Ogawa et al. 1965)を用いて推定した。また、幹材積は胸高直径と樹高のデータを用いて、立木幹材積表(東日本編)(林野庁 1970)の材積式から算出した。なお、算出にあたってはMicrosoft Excel用の幹材積プログラムStemVolume関数(細田ら 2010)を用いた。

林分における立木のサイズ分布特性を指標化し、異なる林齢の林分間で比較するため、個体の胸高直径、樹高、幹材積について、変動係数と歪度という2つのサイズ分布指標を求めた。このうち、変動係数はサイズ不均質性の指標として、歪度はサイズ非対称性の指標として用いた。変動係数は以下の式で算出される。

$$\text{変動係数} = \frac{s}{\bar{x}} \times 100$$

ここで、 $\bar{x}$ と $s$ はそれぞれ個体サイズの平均値と標準偏差を表す。変動係数は百分率の形で算出した。歪度は分布の非対称性に関する統計量であり、相対的にサイズの大きな個体あるいは小さな個体に分布が偏っているかを示す。歪度は以下の式で算出される。

$$\text{歪度} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3$$

ここで、 $x_i$ は $i$ 番目の個体サイズの値、 $\bar{x}$ と $s$ はそれぞれ個体サイズの平均値と標準偏差を表す。サイズ分布は、歪度が負の値の場合は左裾広がり(林分内で相対的に大きいサイズの個体に偏っている)、ゼロの場合は正規分布(対称)、正の値の場合は右裾広がり(林分内で相対的に小さいサイズの個体に偏っている)となる。林分の歪度がゼロ(正規分布)から有意に異なるかについて、モンテカルロ法により $p$ 値を求め、判定した。 $p$ 値の算出には統計ソフトR(R Core Team 2020)のパッケージnormtestを用いた。

本研究では40年生未満の林分を若齢林、40～80年生未満の林分を壮齢林、80年生以上の林分を高齢林とした。本研究では各林分の林齢情報は森林簿に基づいているが、森林簿情報が実際の林分の状態と一致していない場合が存在する可能性が考えられた。そこで、林齢と樹高との関係を見た場合に、ばらつきが少なく、その関係が比較的明瞭となる林分のみに着目することとした。結果の節(3.1)で後述するように、地位を一定の範囲(概ね地位級1と3の中央線の間)に絞った林分データでは、すべてのデータを用いた場合と比べて、林齢と

樹高の間で当てはまりのよい増加曲線が得られたことから、林齢による区分が利用可能であると判断した。林齢と立木密度、平均樹高、平均胸高直径および林分材積との関係を把握するため、これらの関係について線形・非線形回帰を行い、赤池情報量基準 (AIC、赤池ら 2007) に基づいて式を決定した。林齢と立木密度の関係では、岐阜県林政部 (1992) の平均樹高にともなう立木密度の減少関係に用いられた片対数式  $\ln y = a + bx$  を参考に、これを変形した指数式  $y = \exp(a + bx)$  を用いて表した。林齢と平均樹高ならびに林齢と林分材積の関係については、吉本ら (2012) を参考にして単分子反応式  $y = a(1 - \exp(-bx))$  を用いて表した。単分子反応式は成長関数として代表的なミッチャーリッヒ式に類似しているがミッチャーリッヒ式よりも少ない 2 つのパラメータで求めることができるため、比較的データ数が少ない場合でも推定可能である。林齢と平均胸高直径の関係についても単分子反応式

による予測を行ったが、直線回帰の方が AIC の値がわずかに小さく、予測精度が向上することが示唆されたため、直線回帰を用いて表した。当てはまりの良さの指標として、標準化した平方根平均二乗誤差 (Normalized root mean square error, NRMSE) を用いた。また、回帰によって得られたモデルと説明変数を含まない NULL モデルとの有意差を尤度比検定によって求め、それぞれの回帰の p 値とした。NRMSE と p 値の算出には、統計ソフト R (R Core Team 2020) のパッケージ rcompanion の accuracy 関数と nagelkerke 関数を用いた。

本研究ではまた、スギのサイズ分布特性を表す変動係数と歪度を応答変数、林分の混み合い度を表す収量比数を共変量として、混み合い度にもなう変動係数と歪度の変化を壮齢林と高齢林で比較した。これは、混み合い度によって変動係数や歪度が異なることから、同じ混み合い度で壮齢林と高齢林における変動係数や歪度の違いを比較するためである。収量比数は林分の上層木平均樹高および立木密度に基づき、森林総合研究所「収量比数 Ry 計算プログラム」(細田 2020) を使用して求めた。解析には一般化線形モデル (GLM) による共分散分析を用いた (Crawley 2005)。応答変数の分布として、変動係数についてはガンマ分布 (リンク関数は逆数関数) を、歪度については正規分布 (リンク関数は恒等関数) を用いた。ただし、若齢林については 30 年生で約 600 本/ha と通常の密度管理からするとかなり低密度の林分が含まれており、データ数も若齢林全体で 4 林分と少ないことから、解析には用いず、参考として傾向を図示するにとどめた。したがって、共分散分析による比較は壮齢林と高齢林についてのみ行った。なお、GLM により得られた回帰係数について本研究では、「切片」および「共変量の係数」と表現する。後者は直線回帰の場合の傾きに相当する。共分散分析についても、フリーの統計解析ソフト R version 4.0.2 を用いた (R Core Team 2020)。

Table 1. スギ人工林多点調査地の林分概況

プロット	林齢 (年)	平均 胸高 直径 (cm)	平均 樹高 (m)	林分 幹材積 (m <sup>3</sup> /ha)	立木 密度 (本/ha)	収量 比数	相対 幹距比
Y1	12	16.5	10.8	288.8	2105	0.72	0.20
Y2	18	20.4	11.4	319.0	1579	0.65	0.22
Y3	27	35.6	20.4	558.1	589	0.58	0.20
Y4	37	31.5	23.9	870.0	934	0.82	0.14
M1	41	23.2	21.2	561.4	1245	0.83	0.13
M2	41	26.6	23.3	738.5	1146	0.85	0.13
M3	45	35.8	24.0	960.9	845	0.78	0.14
M4	47	25.5	21.0	984.7	1746	0.93	0.11
M5	51	46.6	32.3	796.5	344	0.62	0.17
M6	51	26.2	18.9	679.3	1356	0.81	0.14
M7	51	50.0	31.0	1422.7	550	0.76	0.14
M8	52	32.2	26.5	856.8	796	0.81	0.13
M9	54	33.3	28.3	1221.0	962	0.89	0.11
M10	54	27.0	24.8	1257.6	1608	0.98	0.10
M11	54	36.9	26.0	501.1	382	0.56	0.20
M12	55	34.7	24.7	674.7	622	0.68	0.16
M13	55	32.3	24.7	763.2	796	0.76	0.14
M14	58	55.9	34.9	746.4	217	0.52	0.19
M15	73	40.0	21.9	779.8	619	0.63	0.18
M16	77	44.3	32.6	1168.2	511	0.76	0.14
O1	82	45.0	27.9	956.3	467	0.66	0.17
O2	82	43.7	31.3	935.9	430	0.69	0.15
O3	82	45.0	29.6	1133.9	523	0.73	0.15
O4	86	34.8	27.0	713.3	509	0.67	0.16
O5	86	36.6	26.0	874.6	608	0.72	0.16
O6	90	61.5	37.1	926.6	215	0.53	0.18
O7	94	55.5	32.7	646.7	196	0.45	0.22
O8	97	52.3	34.4	776.1	247	0.55	0.18
O9	97	56.0	38.8	937.2	231	0.60	0.17
O10	97	61.8	34.7	973.2	231	0.53	0.19
O11	102	44.7	32.7	1281.7	557	0.79	0.13
O12	105	66.9	39.4	1371.0	255	0.63	0.16
O13	105	52.5	31.5	1153.1	389	0.66	0.16
O14	109	56.4	30.7	702.9	223	0.46	0.22
O15	112	55.3	30.2	596.0	199	0.42	0.23
O16	112	57.5	34.1	1024.4	286	0.59	0.17
O17	115	41.2	30.7	1395.1	736	0.84	0.12

### 3. 結果

#### 3.1 調査林分の概要と林齢に対する林分特性の傾向

スギ人工林多点調査地の林分概況を Table 1 に示す。林齢の範囲は若齢林で 12 ~ 37 年生、壮齢林で 41 ~ 77 年生、高齢林で 82 ~ 115 年生であった。一般的に過密とされる収量比数 0.8 以上 (全国森林組合連合会 2012) の林分の割合は若齢林で 25% (1/4)、壮齢林で 44% (7/16)、高齢林で 6% (1/17) であり、壮齢林で過密林の割合が最も高かった。また、相対幹距比 15% 以下の林分の割合 (吉田ら 2018) でみると、若齢林で 25% (1/4)、壮齢林で 69% (11/16)、高齢林で 24% (4/17) となり、やはり壮齢林で過密林の割合が最も高かった。平均胸高直径は若齢林で 16.5 ~ 35.6 cm、壮齢林で 23.2 ~ 55.9 cm、高齢林で 34.8 ~ 66.9 cm であり、林齢間で一定程度範囲の重複があるものの、全体として林齢とともに増加していた。平均樹高についても同様の傾向を示し、平均樹高は若齢林で 10.8 ~ 23.9 m、

壮齢林で 18.9 ~ 34.9 m、高齢林で 26.0 ~ 39.4 m であった。一方、林分材積は若齢林で 288.8 ~ 870.0 m<sup>3</sup>/ha、壮齢林で 501.1 ~ 1422.7 m<sup>3</sup>/ha、高齢林で 596.0 ~ 1395.1 m<sup>3</sup>/ha であり、ばらつきが大きいものの壮齢林と高齢林では林分材積の範囲が類似していた。また、壮齢林においても同等の値を示す林分がみられたが、80 年生以上の高齢林では 1000 m<sup>3</sup>/ha 前後の高蓄積の値を示す林分が多くみられた (900 m<sup>3</sup>/ha 以上の林分数は、壮齢林で 6/16、高齢林で 11/17)。

Fig. 1 に林齢と立木密度、平均樹高、平均胸高直径、林分材積との関係を示す。立木密度は 12 年生時の推定値 1772 本/ha の状態から若齢林の間に急激に減少した後、壮齢林ではばらつきが大きいものの減少傾向が続き (40 ~ 80 年生時の推定値で 1086 ~ 539 本/ha)、80 年生以上の高齢林では 380 本/ha 前後 (100 年生時の推定値) で変化していた (Fig. 1a)。平均樹高は林齢とともに増加していき、80 年生以降で 30 m 以上 (回帰による推定値) になると次第に頭打ちの傾向となっていた (Fig. 1b)。岐阜県林政部 (1992) に基づく地位別樹高成長曲線から判断すると、今回の対象林分の樹高は一部を除き概ね地位級 1 ~ 3 に相当していた (Fig. 1b)。平均胸高直径は平均樹高とは

異なり頭打ちの傾向はみられず、林齢とともに直線的な増加傾向がみられた (Fig. 1c)。林分材積は平均樹高と同様の傾向で林齢とともに増加していき、実際の林分では 51 年生で 1000 m<sup>3</sup>/ha を超えるものもみられた。ただし、樹高と比べて NRMSE の値が大きく、壮齢林と高齢林でみると林分材積は約 500 ~ 1400 m<sup>3</sup>/ha の範囲でみられ、ばらつきが大きかった (Fig. 1d, Table 1)。

地位が大きく異なることによる林分データのばらつきの影響を少なくするため、概ね地位級 1 と 3 の中央線の間に分布する林分のみに着目して Fig. 1 と同様の関係を求めた図を Fig. 2 に示す。いずれの関係でも回帰の NRMSE は Fig. 1 の場合よりも小さく、特に林齢と平均樹高および林齢と平均胸高直径との関係で当てはまりが良くなっていた。

### 3.2 サイズ分布特性値の比較

#### 3.2.1 サイズ分布特性値の概要

スギの個体の胸高直径、樹高、材積の変動係数について林分ごとに算出した結果を Table 2 に示す。胸高直径の変動係数の範囲は若齢林で 15.9 ~ 28.1、壮齢林で 7.9 ~ 30.9、高齢林で 15.0 ~ 43.0 であった。樹高の変動係数は

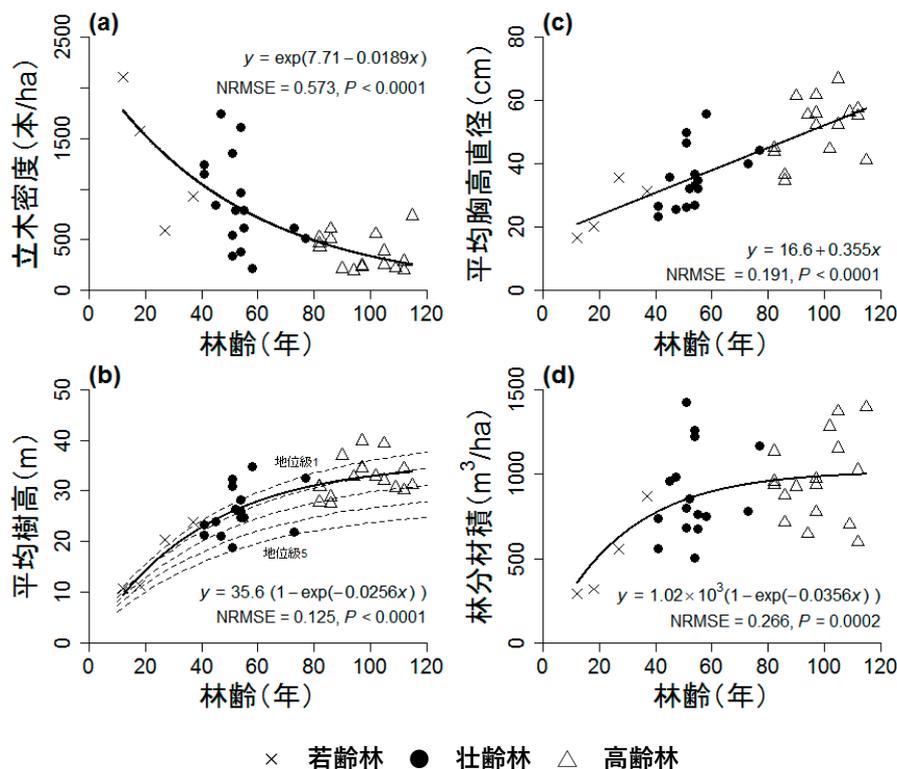


Fig. 1. 郡上市のスギ人工林における林齢と (a) 立木密度、(b) 平均樹高、(c) 平均胸高直径、(d) 林分材積との関係

(b) における点線は岐阜県林政部 (1992) に基づく地位別樹高成長曲線を表す (上から地位級 1 ~ 5)。回帰の当てはまりの良さの指標として、標準化した平方根平均二乗誤差 (NRMSE) を用いた。p 値は説明変数を含まないモデル (NULL モデル) との比較によるものである (尤度比検定)。

他と比較して最も低く、その範囲は若齢林で 9.7～23.2、壮齢林で 3.9～18.4、高齢林で 3.7～15.3 であった。材積の変動係数は他と比較して最も高く、その範囲は若齢林で 33.9～76.6、壮齢林で 14.1～65.4、高齢林で 31.9～79.9 であった。

スギの胸高直径、樹高、材積の歪度について林分ごとに算出した結果を、同じく Table 2 に示す。胸高直径の歪度は 37 林分中 5 林分（若齢林 1 林分、壮齢林 1 林分、高齢林 3 林分）でゼロから有意に異なる値がみられ、これらはすべて正の値であった。樹高の歪度は 37 林分中 13 林分（若齢林 2 林分、壮齢林 8 林分、高齢林 3 林分）で有意な値がみられ、このうち 10 林分（若齢林 2 林分、壮齢林 7 林分、高齢林 1 林分）で負の値を示し、壮齢林で比較的多くみられた。一方、正の値を示したのは壮齢林 1 林分と高齢林 2 林分であった。材積の歪度は 37 林分中 16 林分（若齢林 3 林分、壮齢林 5 林分、高齢林 8 林分）で有意な値がみられ、これらはすべて正の値であった。樹高の歪度で負の値を示した林分では左裾広がり分布であり、劣勢木が林内に残存している状況が示唆される。一方、主に胸高直径や材積の歪度でみられたような正の

値を示した林分では右裾広がり分布であり、少数の優勢木が生じている状況を示している。Fig. S1-S9 には個体の胸高直径、樹高、材積について林分ごとのサイズ分布を示しており、Table 2 の歪度で有意な値を示した林分とサイズ分布との対応がわかる。特に、壮齢林で歪度が有意な負の値を示した林分の樹高分布をみると、左裾広がり分布となっていることが確認できる (Fig. S5)。

### 3.2.2 混み合い度とサイズ分布特性との関係

林分の混み合い度の指標である収量比数に対する変動係数と歪度の変化を Fig. 3 に示す。ここでは、地位が大きく異なることによる林分データのばらつきの影響を少なくするため、Fig. 2 と同様、地位級 1 と 3 の中央線の間分布する林分に限って解析した結果を示している。共分散分析では、全体として壮齢林と高齢林の間で共変量の係数に有意差がみられず、収量比数と胸高直径の変動係数および収量比数と材積の変動係数との関係で切片にのみ有意差がみられた (Fig. 3a, c)。収量比数の増加にともない、変動係数はやや増加する傾向がみられた。一方、収量比数の増加にともない樹高の歪度は減少する傾向が

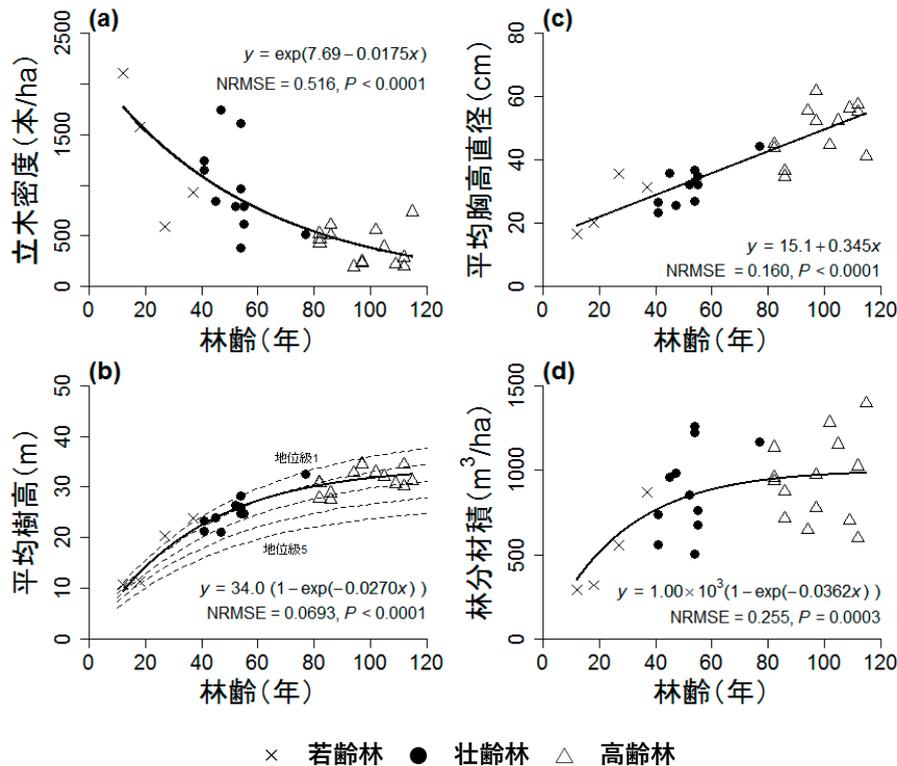


Fig. 2. 郡上市のスギ人工林における林齢と (a) 立木密度、(b) 平均樹高、(c) 平均胸高直径、(d) 林分材積との関係 (概ね地位級 1 と 3 の中央線の間分布する林分のみに着目した場合)  
 (b) における点線は岐阜県林政部 (1992) に基づく地位別樹高成長曲線を表す (上から地位級 1～5)。回帰の当てはまりの良さの指標として、標準化した平方根平均二乗誤差 (NRMSE) を用いた。p 値は説明変数を含まないモデル (NULL モデル) との比較によるものである (尤度比検定)。

みられた。しかし、胸高直径の歪度および材積の歪度については有意な共変量の係数が得られず、収量比数は共変量として有効ではなかった。

胸高直径の変動係数では、壮齢林と比べて高齢林で回帰の切片が有意に高く、同じ収量比数でみると高齢林で変動係数が高いことが示された (Fig. 3a)。樹高の変動係数では、壮齢林と高齢林の切片に有意差はみられなかった (Fig. 3b)。材積の変動係数は胸高直径の変動係数と同様に、高齢林で切片が有意に高く、同じ収量比数でみると高齢林で変動係数が高いことが示された (Fig. 3c)。

胸高直径の歪度では、壮齢林と高齢林との間で切片に有意差はみられなかった (Fig. 3d)。歪度の値はゼロから有意に異なる林分が多くみられ (Table 2)、壮齢林と高齢林いずれも正規分布に近い林分が多いことがうかが

**Table 2.** 胸高直径、樹高、幹材積のサイズ分布における変動係数と歪度

プロット	変動係数			歪度		
	胸高直径	樹高	幹材積	胸高直径	樹高	幹材積
Y1	28.1	23.2	76.6	0.7 *	0.13	1.39 *
Y2	25.5	21.7	58.5	0.14	-0.89 *	0.75 *
Y3	15.9	9.7	33.9	0.44	0.19	0.64 *
Y4	20.7	13.6	44.5	-0.25	-0.89 *	0.14
M1	15.4	7.5	32.9	-0.25	-1.29 *	0.11
M2	14.2	8.6	34.2	0.28	-0.23	1.03 *
M3	15.4	9.6	33.8	0.13	-0.53 *	0.42
M4	24.4	12.2	53.2	0.20	-0.60 *	0.57 *
M5	7.9	4.8	14.1	-0.37	-0.71	-0.50
M6	14.2	6.9	32.6	0.30	-0.49	0.58 *
M7	18.9	10.5	35.8	0.02	-1.16 *	0.33
M8	21.0	12.3	46.4	0.21	-0.22	0.47
M9	27.6	18.0	61.3	0.58 *	-1.20 *	1.57 *
M10	30.9	18.4	65.4	0.29	-1.19 *	0.80 *
M11	17.9	10.4	38.4	0.12	0.04	0.35
M12	10.5	4.6	20.6	0.25	0.83 *	0.21
M13	10.6	3.9	21.5	-0.40	-0.26	-0.18
M14	14.9	8.8	28.5	-0.19	-0.75	0.36
M15	16.6	9.2	33.5	-0.08	-1.08 *	0.28
M16	23.5	12.9	48.5	0.26	-0.47	0.55
O1	28.0	9.6	49.2	-0.53	-0.90 *	-0.10
O2	26.3	9.0	60.6	1.36 *	0.78 *	2.65 *
O3	26.9	10.0	56.4	0.54	0.09	1.26 *
O4	43.0	13.3	77.2	0.15	-0.31	0.62
O5	35.3	15.3	79.9	0.84 *	0.35	1.73 *
O6	16.0	3.7	32.1	0.65	0.32	1.04 *
O7	21.5	5.3	42.9	0.58	0.41	0.81
O8	20.8	8.8	43.7	0.34	0.14	0.83 *
O9	25.2	12.0	51.4	0.06	-0.20	0.62
O10	22.4	6.4	50.0	1.39 *	0.89 *	2.12 *
O11	22.7	7.8	43.7	0.01	-0.40	0.52
O12	21.6	8.4	39.2	-0.36	0.41	0.11
O13	24.1	10.9	50.2	0.20	-0.06	0.79
O14	16.6	7.0	36.4	0.61	0.38	1.11 *
O15	16.4	6.4	33.8	0.16	-0.09	0.50
O16	15.0	7.7	31.9	-0.15	-0.47	0.67
O17	24.1	7.3	47.4	0.32	0.00	0.75 *

\* は歪度がゼロ (正規分布) から有意に異なることを示す ( $p < 0.05$ )。

えた。樹高の歪度も同様に、壮齢林と高齢林との間で切片に有意差はみられなかったが、共通の回帰として表された (Fig. 3e)。歪度の値としては、収量比数が比較的高い壮齢林で負の値 (左裾広がり) が多かったのに対し、収量比数が比較的低い高齢林ではゼロ付近 (正規分布に近い) の値が多かった (Table 2)。材積の歪度では、壮齢林よりも高齢林で回帰の切片が高い傾向があったものの有意ではなかった (Fig. 3f)。歪度の値としては壮齢林と高齢林いずれもほとんどが正の値であった (Table 2)。

Fig. 2 で示した収量比数と変動係数および歪度の関係について、地位級の範囲を限定せず、すべてのデータを用いて解析した結果を Fig. S10 に示す。変動係数については Fig. 2 と同様に胸高直径と材積で切片に有意差がみられ、高齢林で変動係数が高かった (Fig. S10a, c)。一方歪度についてはいずれの関係も有意な回帰が得られず収量比数が共変量として有効ではなかったが、樹高と材積については高齢林で有意に高かった (Fig. S10e, f)。

## 4. 考察

### 4.1 郡上市のスギ人工林

調査、解析の対象とした郡上市のスギ人工林は特に高齢林で  $900 \text{ m}^3/\text{ha}$  以上の林分の割合が多く、高蓄積の傾向がみられた (Table 2)。その理由として、高齢林では比較的地位の高い林分が多かったことが考えられる (Fig. 1b)。岐阜・愛知・富山県の 80 ~ 117 年生のスギ高齢人工林 33 林分の調査では、本研究と同じ地位別樹高成長曲線 (岐阜県林政部 1992) が地位の判定に用いられており、地位級 1 ~ 5 まで幅広い地位の林分がみられたと報告されている (横井・三村 2014)。これに対し、本研究の高齢林分はすべて地位級 3 以上のもので占められており、これが高蓄積の林分が多くみられた一因と考えられる。一方で、同じ林齢でも林分材積は大きなばらつきがみられた (Fig. 1d)。このばらつきの要因としては、地位だけでなく、立木密度の違い (Fig. 1a) に反映されるように異なる間伐履歴の影響が考えられる。

### 4.2 直径・樹高・材積分布の特性

本研究では、歪度が有意に正の値となる林分が材積分布で特に多くみられた (Table 2)。直径、樹高、材積のうち、正の歪み (右裾広がり) が比較的大きいのが材積分布であり、反対に正の歪みが比較的小さいのが樹高分布であるといわれている (Hara 1984a, b, 國崎 2001)。これは樹木個体の成長においては、直径よりも樹高への資源配分が優先されるという考えに基づいて説明される (Hara 1984a)。どの個体も樹高に優先的に資源を配分するため樹高では優劣がつきにくい、資源に余裕がある個体ほど樹高だけでなく直径にも配分できるため直径では優劣がつきやすい。材積分布の正の歪みは、主に直径分布における個体差が増幅したものと考えられる。

スギをはじめ人工林における直径の変動係数は、間伐

や自己間引きにより立木密度が低下した際には一旦減少するものの、その後時間の経過とともに微増すると報告されている(國崎 2001)。本研究においても胸高直径の変動係数は壮齢林よりも高齢林で高くなっていた (Fig. 3a)。同じ収量比数でも高齢林は壮齢林と比べて胸高直径の変動係数が高く、林分内における個体間の胸高直径の格差が顕著であることがうかがえた (Fig. 3a)。個体間競争の程度を反映して、変動係数は立木密度が高い林分では増加し、間伐(下層間伐を想定)により競争が緩和されると減少するが、間伐後一定期間が経過すると再び増加することが指摘されている(國崎 2001)。収量比数から考えると郡上市の高齢林において過密林分は少なく、概ね適正に管理されているように見える。しかし、そのような高齢林で胸高直径の変動係数が高いのは、自己間引き

や間伐履歴の違いにより生じた過去の個体間差を反映している可能性がある。一方、歪度については高齢林と壮齢林で差が見られなかった。國崎 (2001) は文献レビューに基づき、壮齢期以降の林分では間伐により競争が緩和されるため、壮齢期以降に歪度の増減が明確でない林分が多いことを指摘しており、本研究の結果にもこれと同様の要因が影響していると考えられる。

間伐によるサイズ分布への影響は、間伐方法の違いや間伐前の立木密度によっても異なることがこれまでに報告されている(國崎 2001)。変動係数は一般に下層間伐により減少するが(田中 1992a)、間伐木がより上層に及ぶほど変動係数が増加する事例がトドマツ林で報告されている(阿部 1979)。歪度は間伐木がより上層に及ぶほど減少することが若齢から壮齢のスギ林とヒノキ林で報告さ

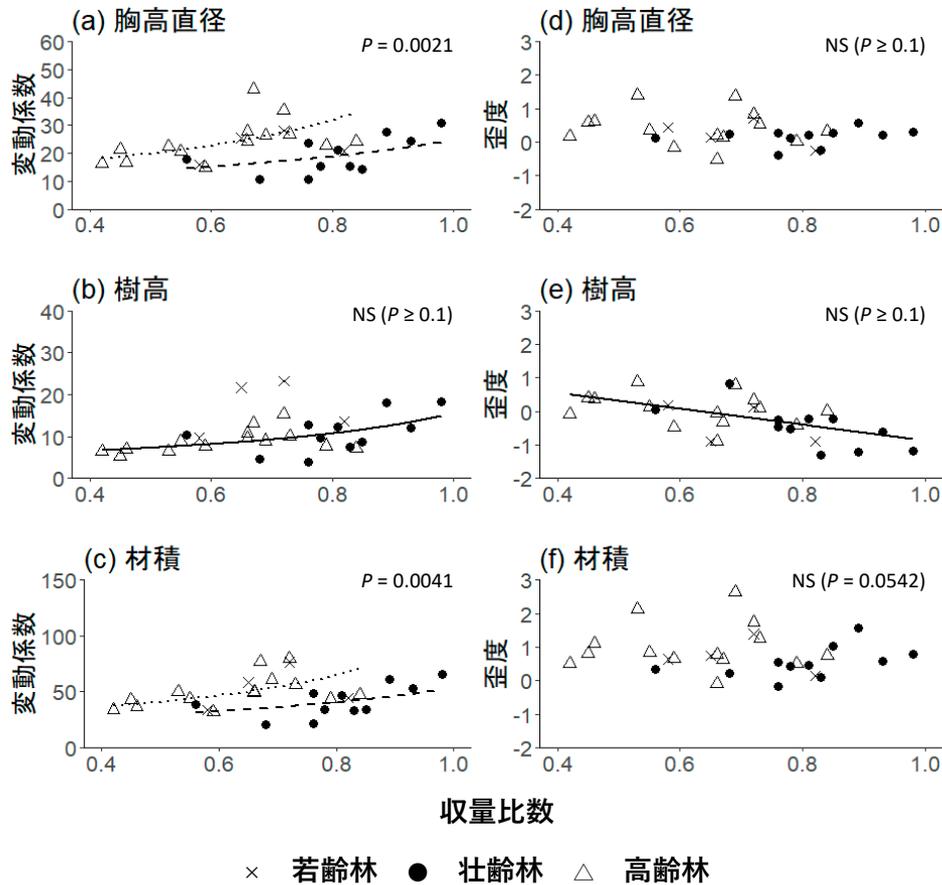


Fig. 3. 壮齢林と高齢林における収量比数に対する個体サイズ(胸高直径、樹高、材積)の変動係数(a-c)と歪度(d-f)の関係(概ね地位級1と3の中央線間に分布する林分のみに着目した場合)

破線(壮齢林)と点線(高齢林)は共変量の係数(直線回帰の傾きに相当)は共通だが切片が壮齢林と高齢林で異なり、それぞれで有意な回帰が得られたことを示す。実線は、共変量の係数も切片も共通の回帰で表されることを示す。p値はGLMに基づく共分散分析による切片の有意差、NSは切片に有意差がみられなかったことを示す。なお、共変量の係数についてはすべての関係で壮齢林と高齢林との間に有意差がみられなかった。若齢林は解析には用いていないが参考値としてプロットした。

れている(家原 1991)。また、立木密度が高いほど変動係数が大きく、歪度は増加しやすいとされる(Hara 1984b、國崎 1998)。この点については、本研究において、混み合い度の指標として用いた収量比数が高いほど変動係数が高くなるパターンと類似しているが(Fig. 3a)、歪度では明確な関係がみられなかった(Fig. 3d)。本研究は1回の多点調査データに基づくため、間伐方法の違いや過去の立木密度の変化などによるサイズ分布構造への影響を詳細に評価することはできなかったが、こうした要因がサイズ分布に及ぼす影響にも注意する必要がある。

樹高の変動係数については胸高直径の場合とは異なり、壮齡林と高齡林では収量比数との変動係数の関係において共通の回帰で表され、切片に有意差がみられなかった(Fig. 3b)。通常、一斉林では壮齡期以降多くの個体が林冠部へ到達しているため、胸高直径と比べて樹高のばらつきは生じにくいと考えられる(田中 1983)。歪度についても、共分散分析により壮齡林と高齡林は共通の回帰で表された(Fig. 3e)。ただし、それぞれの林分に注目すると、収量比数が比較的高い壮齡林で負の歪み(左裾広がり)が多いのに対し、収量比数が比較的低い高齡林でゼロ(正規分布)に近い歪みの少ない状態が多かった(Table 2)。この理由としては、過去に被圧木、劣勢木として残存していた個体が自己間引きにより枯損あるいは間伐により除かれた結果、高齡林では負の歪みが弱められ、正規分布に近くなったためと考えられる。このような樹高の歪度の差には、収量比数で表される混み合い度のほか、地位の違いも影響していると考えられる。

材積の変動係数については、胸高直径と類似した傾向となり高齡林で高くなった(Fig. 3c)。また、歪度については収量比数と関係なく高齡林で高い林分(正の値で右裾広がり)が多く、サイズ非対称性が高い傾向がみられたものの(Table 2)、胸高直径と同様、壮齡林と高齡林の間で有意差はみられなかった(Fig. 3f)。個体間競争の影響を検討する場合には乾重量や材積を指標とするのが望ましいといわれている一方で、材積のサイズ分布動態の傾向は胸高直径のそれとほぼ同様と考えられている(Hara 1993)。これは、上述のように資源配分の点から樹高よりも直径で優劣が付きやすいことを反映し(Hara 1984a)、材積は直径の影響をより大きく受けるからであると考えられる。

#### 4.3 今後の人工林管理への示唆

本研究で行った林分調査に基づき、調査対象の郡上市のスギ林は主として地位級1~3の林分により構成され地位が高く、蓄積の高い林分が多かったことが示された(Fig. 1-2、Table 1)。また、80年生以上の高齡林では、壮齡林と比較して変動係数で表される個体の胸高直径および材積のサイズ不均質性が増加する傾向が示された(Fig. 3)。さらに、歪度で表される個体の材積のサイズ非対称性についても高齡林で高い傾向が示された(Table 2)。時

間経過とともにサイズ不均質性やサイズ非対称性が高まる傾向は、主に固定試験地における経年変化のモニタリング事例において報告されているが(田中 1992a、國崎 2001)、本研究は、林分の多点調査でも林齢にともないサイズ不均質性やサイズ非対称性の増加がみとめられた事例のひとつである。伐期の長期化にともない、壮齡林から高齡林まで幅広い林齢の林分が収穫の対象となり、間伐自体も収穫の一部となりうる人工林管理では、長期にわたり残す木の価値を高めることが施業上重要である。本研究の結果から明らかとなったように、立木密度が低下した高齡林で個体サイズのばらつきが大きくなるという状況を踏まえると、個体ごとのサイズや形状に配慮した管理に着目する必要がある。このように本研究では、立木密度が低く個体サイズのばらつきが大きくなった高齡林においては、1本1本の状況を見極めて残す木を保育する個体管理が重要であることが示唆されたといえる。

#### 謝辞

本研究を実施するにあたり、郡上市農林水産部林務課の河合智氏、同情報課の日置欽昭氏と関係者の皆様ならびに各地域振興事務所の皆様には、調査対象の民有林に関する情報提供と調査許可手続きに関してご助力いただいた。また、民有林所有者の皆様には現地調査をご承諾いただき、現地をご案内いただいた。森林総合研究所森林植生研究領域の佐藤保氏、同植物生態研究領域の壁谷大介氏には研究計画設計に関するご協力と関係者への調整を行っていただいた。担当編集委員ならびに2名の査読者の皆様には本論文の改訂に関する有用なコメントを多数いただいた。以上の皆様に深く感謝申し上げる。本研究は森林総合研究所交付金プロジェクト「積極的長伐期林業を目指した大径材生産技術の開発」(課題番号201804)により実施された。

#### 引用文献

- 阿部 信行(1979) トドマツ人工林における間伐内容と直径分布との関連分析. 日林論, 90, 97-98.
- 赤池 弘次・甘利 俊一・北川 源四郎・樺島 祥介・下平 英寿(2007) 赤池情報量基準AIC—モデリング・予測・知識発見—(室田 一雄・土屋 隆 編). 共立出版, 160pp.
- Bendel, R. B., Higgins, S. S., Teberg, J. E. and Pyke, D. A. (1989) Comparison of skewness coefficient, coefficient of variation, and Gini coefficient as inequality measures within populations. *Oecologia*, 78, 394-400.
- Crawley, M.J. (2005) (野間口謙太郎・菊池泰樹 訳, 2008) 統計学: R を用いた入門書. 共立出版, 344pp.
- 岐阜県林政部(1992) スギ人工林林分収穫表・林分密度管理図. 21pp.
- Hara, T. (1984a) A stochastic model and the moment dynamics of the growth and size distribution in plant populations. *J.*

- Theor. Biol., 109, 172–190.
- Hara, T. (1984b) Dynamics of stand structure in plant monocultures. *J Theor. Biol.*, 110, 223–239.
- Hara, T. (1993) Mode of competition and size-structure dynamics in plant communities. *Plant Species Biol.*, 8, 75–84.
- 細田 和男・光田 靖・家原 敏郎 (2010) 現行立木幹材積表と材積式による計算値との相違およびその修正方法. *森林計画誌*, 44, 23–39.
- 細田 和男 (2020) “収量比数  $R_y$  計算プログラム”, <https://www.ffpri.affrc.go.jp/database/yieldindex/index.html>, (参照 2021-8-29).
- 家原 敏郎 (1991) 数理モデルによる森林成長の樹種・地域特性の解明 (IV) 関西地域における直径分布の地域・施業特性. *日林論*, 102, 157–158.
- 気象庁 (2021) “気象庁ホームページ：過去の気象データ検索”, <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, (参照 2021-3-25).
- 河合 智 (2018) 災害リスクを考慮した木材生産の推進と将来目標区分について. *森利誌*, 33, 85–88.
- 國崎 貴詞 (1998) 若い針葉樹同齡単純林の直径分布の動態. *岩大演報*, 29, 11–25.
- 國崎 貴詞 (2001) 樹木同齡単純林における胸高直径分布とその動態—針葉樹を中心として—. *森林計画誌*, 35, 31–45.
- 國崎 貴詞 (2016) 人工同齡単純林の林分構造に関する古典的解析法. *岩大演報*, 47, 59–71.
- 國崎 貴詞・藁谷 紀恵・柴田 信明 (1999) 岩手山麓におけるスギ高齡林の林分構造と成長. *日林誌*, 81, 346–350.
- 中村 松三・伊藤 哲・山川 博美・平田 令子 (2019) 低コスト再造林への挑戦：一貫作業システム・コンテナ苗と下刈り省力化. *日本林業調査会*, 168pp.
- 日本森林学会 (2018) “林業遺産：No.35 郡上林業の歴史と技術を伝承する資料・展示と社叢林”. *日本森林学会ウェブサイト*, <https://www.forestry.jp/forestryheritage/2018-3235/>, (参照 2022-4-12).
- Ogawa, H., Yoda, K., Ogino, K. and Kira, T. (1965) Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand II. Plant biomass. *Nature and life in Southeast Asia*, 4, 49–80.
- R core team (2020) “R: A language and environment for statistical computing”. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <https://www.R-project.org/>.
- 林野庁 (1970) 立木幹材積表 (東日本編). *日本林業調査会*, 333pp.
- 林野庁 (2020) 令和元年度森林・林業白書. *林野庁*, 346pp.
- 田中 和博 (1983) 林齢に伴う直径分布型および樹高分布型の変化に関する一考察. *日林誌*, 65, 473–476.
- 田中 和博 (1992a) 二次元林分遷移の方程式とその応用に  
関する研究. *三重大演報*, 17, 1–171.
- 田中 和博 (1992b) 平倉演習林藤堂スギ林分の林齢 168 年から 180 年までの定期成長. *三重大演報*, 17, 211–231.
- 横井 秀一・三村 晴彦 (2014) 岐阜・愛知・富山県のスギ高齡人工林の林分構造. *中部森林技術交流発表集*, 26, 7.
- 吉田 茂二郎・田中 文・太田 徹志・溝上 展也・福本 桂子 (2018) 密度管理されたスギ高齡人工林における 4 密度管理指標間の関係と過密林分での基準値の評価. *日林誌*, 100, 77–80.
- 吉本 敦・加茂 憲一・柳原 宏和 (2012) R による環境データの統計解析—森林分野での応用—. *朝倉書店*, 202pp.
- 全国森林組合連合会 (2012) 森林施業プランナーテキスト基礎編. *森林施業プランナー協会*, 191pp.
- 全国林業改良普及協会 (2006) 長伐期林を解き明かす. *全国林業改良普及協会*, 196pp.

#### 補足電子資料

以下はオンライン版のみの掲載となります。

<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/bulletin/465/index.html>

#### Fig. S1. スギ若齡林における胸高直径のサイズ分布

図中の % は胸高断面積合計に基づくスギ以外の樹種が占める相対優占度を表す。

#### Fig. S2. スギ壯齡林における胸高直径のサイズ分布

図中の % は胸高断面積合計に基づくスギ以外の樹種が占める相対優占度を表す。

#### Fig. S3. スギ高齡林における胸高直径のサイズ分布

図中の % は胸高断面積合計に基づくスギ以外の樹種が占める相対優占度を表す。

#### Fig. S4. スギ若齡林における樹高のサイズ分布

#### Fig. S5. スギ壯齡林における樹高のサイズ分布

#### Fig. S6. スギ高齡林における樹高のサイズ分布

#### Fig. S7. スギ若齡林における材積のサイズ分布

#### Fig. S8. スギ壯齡林における材積のサイズ分布

#### Fig. S9. スギ高齡林における材積のサイズ分布

#### Fig. S10. 壯齡林と高齡林における収量比数に対する個体サイズ (胸高直径、樹高、材積) の変動係数 (a–c) と歪度 (d–f) の関係

破線 (壯齡林) と点線 (高齡林) は共変量の係数 (直線回帰の傾きに相当) は共通だが切片が壯齡林と高齡林で異なり、それぞれで有意な回帰が得られたことを示す。実線は、共変量の係数も切片も共通の回帰で表されることを示す。実線、破線、点線がなく、p 値が NS 以外で示されているものは、有意な共変量の係数が得られなかったが切片 (変動係数や歪度に関する壯齡林と高齡林の平均値に相当) には壯齡林と高齡林との間で有意差があることを示す。p 値は GLM に基

づく共分散分析による切片の有意差、NSは切片に有意差がみられなかったことを示す。なお、共変量の係数についてはすべての関係で壮齢林と高齢林との間に有意差がみられなかった。若齢林は解析には用いていないが参考値としてプロットした。

## Size distribution characteristics of old-growth Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) plantations in Gujo city, Gifu Prefecture, Japan

Kazuki MIYAMOTO<sup>1)\*</sup>, Masatake G. ARAKI<sup>2),3)</sup>, Hiromi YAMAGAWA<sup>4)</sup>, Katsuhiro NAKAO<sup>5)</sup>,  
Yoshio AWAYA<sup>6)</sup>, Hitoshi WATANABE<sup>7)</sup> and Yoshizumi HISADA<sup>7)</sup>

### Abstract

To clarify the size distribution characteristics of trees in old-growth Japanese cedar plantations, we conducted a multi-point survey in Gujo City, Gifu Prefecture, Japan. The old-growth stands ( $\geq 80$  years) comprised around 1000 m<sup>3</sup> stand volume. The relationships between tree crowding indices (relative yield index), indices of size heterogeneity (coefficient of variation), and size asymmetry (skewness) revealed that the size heterogeneity of diameter and stem volume was significantly higher in old-growth stands than in mature stands (40–80 years) under identical crowding conditions. In most of the old-growth stands, the skewness of diameter did not significantly differ from zero indicating a normal distribution, whereas the skewness of stem volume was significantly positive, indicating a positively skewed distribution with its tail on the right side. These results suggest that the old-growth Japanese cedar plantations in Gujo City are characterized by relatively high stand volumes, high size heterogeneity and high size asymmetry. The results also suggest that individual tree management is important in old-growth stands with lower tree density and large disparity in tree size.

**Key words :** old-growth plantation forest, size structure, coefficient of variation, skewness, relative yield index

---

Received 11 June 2021, Accepted 8 November 2022

1) Department of Forest Vegetation, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Department of Plant Ecology, FFPRI

3) Forest Research, Extension and Protection Division, Forestry Agency

4) Kyushu Research Center, FFPRI

5) Kansai Research Center, FFPRI

6) River Basin Research Center, Gifu University

7) Gifu Prefectural Research Institute for Forests

\* Department of Forest Vegetation, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN; E-mail: mkazuki@affrc.go.jp



## ノート (Note)

## A semisolid plate method to isolate mycelia maintaining chlamyospore formation in *Tricholoma bakamatsutake*

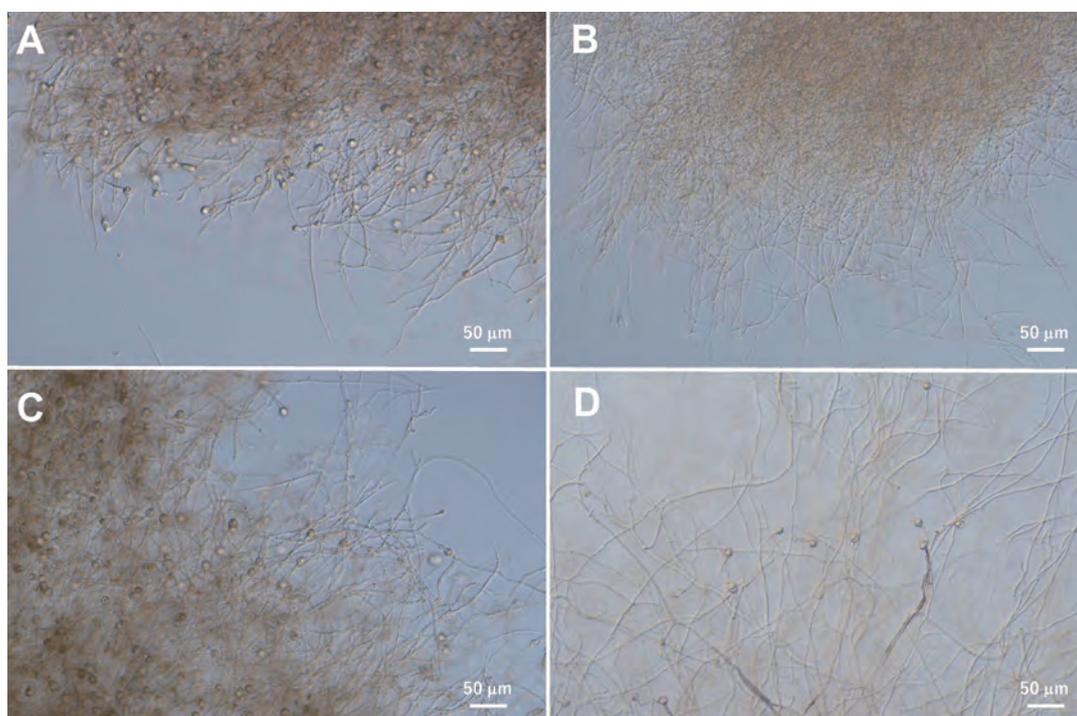
Hitoshi MURATA<sup>1)\*</sup>, Noritaka NAKAMURA<sup>1)</sup>, Akira OHTA<sup>2)</sup> and Hiroyuki ICHIDA<sup>3)</sup>

**Key words:** mutants, mushroom, matsutake

### Introduction

*Tricholoma bakamatsutake* is an ectomycorrhizal agaricomycete with fruiting bodies resembling those of *Tricholoma matsutake*, the prized mushroom known as *matsutake*, in Fagaceae forests (Ogawa 1978, Yamada et al. 2014, Herrera et al. 2022). Certain *T. bakamatsutake* isolates

change their mycelial morphology in the course of mycelial transplantation to agar media, generally from “slow-growing brown” to “fast-growing white” mycelia, the latter being phenotypically stable on agar media, and do not become the brown ones in general. Brown mycelia display numerous chlamyospores generated asexually from hyphae (Fig. 1; Kües



**Fig. 1.** *Tricholoma bakamatsutake* hyphae and chlamydospores observed under a light microscope. **A.** Brown mycelia of SF-Tf08 with numerous chlamydospores. These brown mycelia were regenerated from the white mycelia using MMN+V8+0.3% SeaKem® GTG agarose™. **B.** White mycelia of SF-Tf08 without chlamydospores. **C.** Brown mycelia of SF-Tf09. **D.** Chlamydospores present in fast growing hyphal sector area of SF-Tf09.

バカマツタケ菌糸体から厚壁胞子形成能を維持した菌株を選抜する半流動培地  
村田 仁<sup>1)\*</sup>、中村 慎崇<sup>1)</sup>、太田 明<sup>2)</sup>、市田 裕之<sup>3)</sup>

Received 1 November 2022, Accepted 6 December 2022

1) Department of Mushroom Sciences and Forest Microbiology, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Kansai Research Center, FFPRI

3) RIKEN Nishina Center for Accelerator-Based Science

\* Department of Mushroom Sciences and Forest Microbiology, FFPRI,

1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN; E-mail: murmur@ffpri.affrc.go.jp

原稿受付：令和4年11月1日 原稿受理：令和4年12月6日

1) 森林総合研究所 きのこ・森林微生物研究領域

2) 森林総合研究所 関西支所

3) 理化学研究所 仁科加速器研究センター

\* 森林総合研究所 きのこ・森林微生物研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里1、E-mail: murmur@ffpri.affrc.go.jp

2000). In this study, we developed an agar culture method that allows for distinguishing brown and white mycelial colonies in a single white mycelium of *T. bakamatsutake*. This approach allowed for reisolating strains with the original phenotype, i.e., slow-growing brown mycelia, from spontaneously occurring variants, the fast-growing white mycelia, of *T. bakamatsutake*.

### Materials and methods

We used *T. bakamatsutake* strains SF-Tf05, SF-Tf08, and SF-Tf09 as described previously (Murata et al. 2013a, b). Unless stated otherwise, these fungal strains were cultured in the MMN+V8 liquid medium or on MMN+V8 containing 1.5% agar at 23°C (Murata et al. 1999). Semisolid agar plates to differentiate the original strains from phenotypic *T. bakamatsutake* variants were made of the following

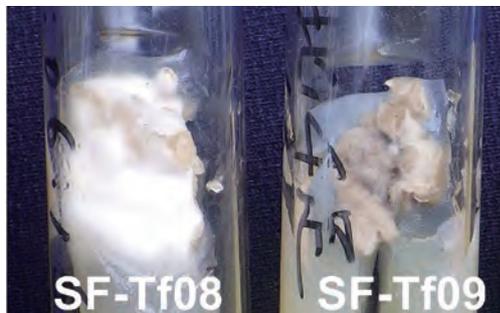
components: MMN+V8 medium or the half-strength version of the medium, and 0.3% SeaKem® GTG agarose™.

*T. bakamatsutake* variants were isolated as follows. The mycelia were cultured in MMN+V8+0.3% SeaKem® GTG agarose™ medium at 23°C until reaching a decent size, i.e., a diameter of 15 mm. The mycelia were then cut into pieces with a sterile surgical scalpel (Feather No. 21) and observable mycelial pieces were removed from the agar medium. The medium was then supplemented with fresh MMN+V8+0.3% SeaKem® GTG agarose™ to fill the agar plate and incubated further at 23°C until mycelial colonies appeared.

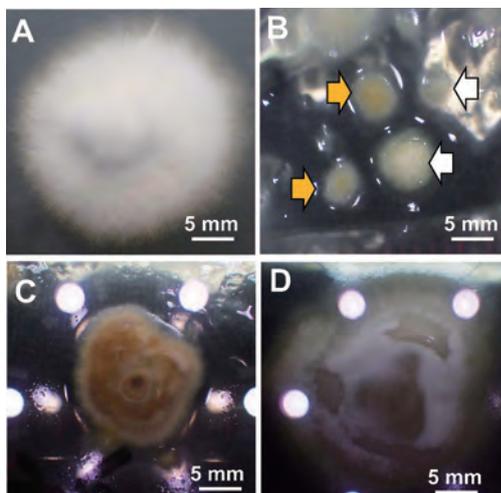
The DNA analysis-based taxon identification was performed using an rRNA gene internal transcribed spacer region (ITS1-5.8S-ITS2) as described previously (Gardes and Bruns 1993, Murata et al. 2013a, Aoki et al. 2022).

### Results and discussion

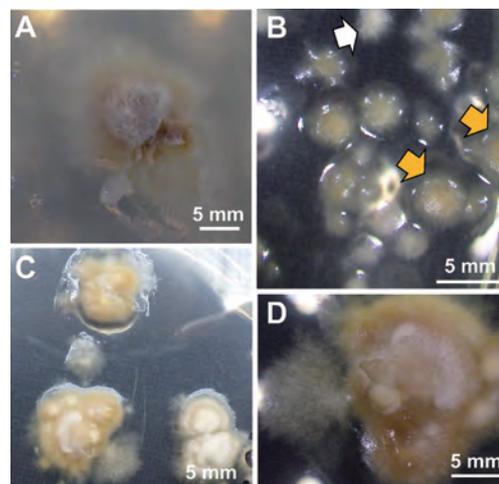
*T. bakamatsutake* SF-Tf05 grew in the form of fully brown mycelia, exhibiting the same apparent colony morphology as that of the first fruiting body isolate in the MMN+V8 agar. In contrast, SF-Tf08 and SF-Tf09 grew as white mycelia and brown mycelia with white aerial hyphae, which had originally grown in the form of totally brown mycelia (Fig. 2, 3A, 4A). *T. bakamatsutake* SF-Tf08 formed white mycelia with uniform appearance and has never formed brown mycelia either on MMN+V8+1.5% agar slants or plates (Fig. 2, 3A). Therefore, the original strain SF-Tf08 exhibiting brown colony morphology isolated from the fruiting body of SF-



**Fig. 2.** *Trichloma bakamatsutake* mycelial morphology grown in the MMN+V8+1.5% agar slants.



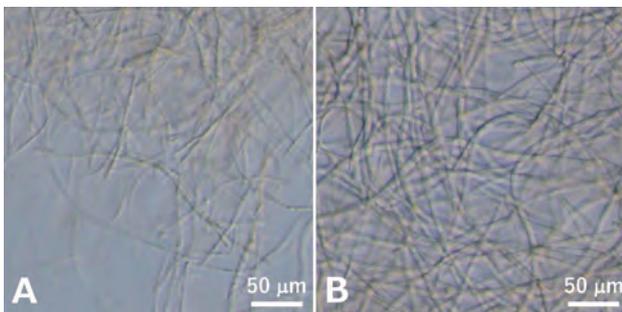
**Fig. 3.** *Trichloma bakamatsutake* SF-Tf08 mycelial morphology. A. SF-Tf08 strain grown in the MMN+V8+1.5% agar plate. B. SF-Tf08 strain grown in the MMN+V8+0.3% SeaKem® GTG agarose™ plate. Note the appearance of brown (yellow arrows) and white (white arrows) colonies. C-D. Strain SF-Tf08 reisolated from the MMN+V8+0.3% SeaKem® GTG agarose™ plate; stable growth of brown (C) and white (D) mycelia.



**Fig. 4.** *Trichloma bakamatsutake* SF-Tf09 mycelial morphology. A. SF-Tf09 strain grown in the MMN+V8+1.5% agar plate. B. SF-Tf09 strain grown in the MMN+V8+0.3% SeaKem® GTG agarose™ plate. Note the appearance of brown (yellow arrows) and white (white arrows) colonies. C-D. Growth of strain SF-Tf09 in the MMN+V8+0.3% SeaKem® GTG agarose™ plate.

Tf08 no longer exists (Fig. 2). However, when culturing MMN+V8+0.3% SeaKem® GTG agarose™ as described in the materials and methods section, SF-Tf08 generated various mycelial colonies that appeared to grow from chlamyospores (Fig. 3B). Both brown and white mycelia isolated from MMN+V8+0.3% SeaKem® GTG agarose™ stably grew on the standard MMN+V8 with 1.5% agar with seldom generating variants (Fig. 3C, D).

Microscopic observations did not allow for detecting any chlamyospores in the white mycelia unlike the brown ones (Fig. 1). However, based on variant isolation from *T. bakamatsutake* SF-Tf08 mycelia using MMN+V8+0.3% SeaKem® GTG agarose™, a small number of chlamyospores could have potentially scattered in the white mycelia, giving rise to both brown and white mycelial colonies. Notably, the hyphae of *T. bakamatsutake* SF-Tf08 with brown mycelial colony are quite thicker than that with white mycelial colony



**Fig. 5.** *Tricholoma bakamatsutake* SF-Tf08 hyphae observed under a light microscope showing that hyphae of white mycelia are thinner than those of brown ones. **A.** Hyphae of white mycelia. **B.** Hyphae of brown mycelia.



**Fig. 6.** *Tricholoma bakamatsutake* SF-Tf05 mycelial morphology on the MMN+V8+0.3% SeaKem® GTG agarose™ plate. Note that brown colonies dominate the population, in which a few darker brown and white colonies appeared.

(Fig. 5).

When *T. bakamatsutake* SF-Tf05 was cultured on the MMN+V8+0.3% SeaKem® GTG agarose™ plate, the brown mycelial colonies predominantly appeared with a few white colonies (Fig. 6). *T. bakamatsutake* SF-Tf09 exhibited the same trend as SF-Tf08 by culturing MMN+V8+0.3% SeaKem® GTG agarose™ (Fig. 4B–D). DNA analysis confirmed that all representing isolates with the above-described traits were *T. bakamatsutake*.

When isolating mycelial colonies in 0.3% SeaKem® GTG agarose™, the various observed *T. bakamatsutake* morphological phenotypes could be attributed to an agar plate with pure agar that loosely solidified the medium, allowing the fungus to better form chlamyospores that spread that medium. The described protocol is thus useful in isolating variants from *T. bakamatsutake* strains and reisolating the original isolate from a subculture that changed its phenotypic trait. Henceforth, the semisolid agar culture method may be useful in reisolating *T. bakamatsutake* strains from the single mycelial colony that might behave differently among the population in association with host plants and substrate cultivation for fruiting. In fact, we are currently examining the difference between *T. bakamatsutake* strains exhibiting brown mycelial colonies and those exhibiting white ones on agar plate culture in terms of mycorrhiza synthesis and spawn cultivation for fruiting. Furthermore, we isolated and characterized *Tricholoma matsutake* mutants generated by irradiation mutagenesis (Murata et al. 2019, 2021). The agar plate screening system could also be useful in such analyses.

## References

- Aoki, W., Bergius, N., Kozlan, S., Fukuzawa, F., Okuda, H., Murata, H., Ishida, T.A., Vaario, L.-M., Kobayashi, H., Kalmış, E., Fukiharu, T., Gisusi, S., Matsushima, K., Terachima, Y., Narimatsu, M., Matsushita, N., Ka, K.-H., Yu, F., Yamanaka, T., Fukuda, M. and Yamada, A. (2022) New findings of the fungal species *Tricholoma matsutake* from Ukraine, and revision of its taxonomy and biogeography based on multilocus phylogenetic analyses. *Mycoscience*, 63(5): 197–214. <https://www.doi.org/10.47371/mycosci.2022.07.004>.
- Gardes, M. and Bruns, T. D. (1993) ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes – application to the identification of mycorrhizae and rusts. *Mol. Ecol.*, 2(2), 113–118. <https://www.doi.org/10.1111/j.1365-294x.1993.tb00005.x>.
- Herrera, M., Wang, R., Zhang, P. and Yu, F.-Q. (2022) The ectomycorrhizal association of *Tricholoma matsutake* and two allied species, *T. bakamatsutake* and *T. fulvocastaneum*, with native hosts in subtropical China.

- Mycologia, 114(2), 303–318. <https://www.doi.org/10.1080/00275514.2022.2025563>.
- Kües, U. (2000) Life history and developmental processes in the basidiomycete *Coprinus cinereus*. Microbiol. Mol. Biol. Rev., 64(2), 316–353. <https://www.doi.org/10.1128/MMBR.64.2.316-353.2000>.
- Murata, H., Nakano, S., Yamanaka, T., Shimokawa, T., Abe, T., Ichida, H., Hayashi, Y., Tahara, K. and Ohta, A. (2019) Conversion from mutualism to parasitism: a mutant of the ectomycorrhizal agaricomycete *Tricholoma matsutake* that induces stunting, wilting and root degeneration in seedlings of its symbiotic partner *Pinus densiflora* in vitro. Botany, 97(8), 463–474. <https://www.doi.org/10.1139/cjb-2019-0060>.
- Murata, H., Nakano, S., Yamanaka, T., Shimokawa, T., Abe, T., Ichida, H., Hayashi, Y. and Tahara, K. (2021) Argon-ion beam induced mutants of the ectomycorrhizal agaricomycete *Tricholoma matsutake* defective in  $\beta$ -1,4-endoglucanase activity promote the seedling growth of *Pinus densiflora* in vitro. Botany, 99(3), 139–149. <https://www.doi.org/10.1139/cjb-2020-0076>.
- Murata, H., Ota, Y., Yamada, A., Ohta, A., Yamanaka, T. and Neda, H. (2013a) Phylogenetic position of the ectomycorrhizal basidiomycete *Tricholoma dulciolens* in relation to species of *Tricholoma* that produce “matsutake” mushrooms. Mycoscience, 54(6), 438–443. <https://www.doi.org/10.1016/j.myc.2013.02.003>.
- Murata, H., Ota, Y., Yamaguchi, M., Yamada, A., Katahata, S., Otsuka, Y., Babasaki, K. and Neda, H. (2013b) Mobile DNA distributions refine the phylogeny of “matsutake” mushrooms, *Tricholoma* sect. *Caligata*, 54(6), Mycorrhiza, 23(6), 447–461. <https://www.doi.org/10.1007/s00572-013-0487-x>.
- Murata, H., Yamada, A. and Babasaki, K. (1999) Identification of repetitive sequences containing motifs of retrotransposons in the ectomycorrhizal basidiomycete *Tricholoma matsutake*. Mycologia, 91(5), 766–775. <https://www.doi.org/10.1080/00275514.1999.12061082>.
- Ogawa, M. (1978) Biology of Matsutake mushroom. Tsukiji Shokan, Tokyo, 333pp.
- Yamada, A., Endo, N., Murata, H., Ohta, A. and Fukuda, M. (2014) *Tricholoma matsutake* Y1 strain associated with *Pinus densiflora* shows a gradient of in vitro ectomycorrhizal specificity with Pinaceae and oak hosts. Mycoscience, 55(1), 27–24. <https://www.doi.org/10.1016/j.myc.2013.05.004>.

## 研究資料 (Research record)

# シカによる剥皮食害を受けたエゴノキ (*Styrax japonicus*) の 樹皮と木部の顕微鏡観察

藤井 智之<sup>1)\*</sup>

### 要旨

シカの剥皮食害の樹種による違いを扱った研究報告は多いが、樹皮が再生され易い樹種に関する報告は少ない。食害後に樹皮を再生しているエゴノキの幹の食害部位を顕微鏡観察し、その解剖学的特徴について考察した。剥皮食害を受けて間もない部位の最外層は木部分化帯で、一次壁帯はわずかに1~2細胞層であり、その外表面は半透明の物質に覆われていた。前年の剥皮食害後に再生した樹皮は、内樹皮と1層の周皮のみを含む外樹皮とで構成されていた。樹皮にも前年輪の木部にも面的な傷害組織は観察されなかった。一般的な巻込みによらず、傷害面全体でのカルス (surface callus) から形成層を再生する樹種が報告されている。エゴノキでは、剥皮食害で露出した木部分化帯が短期間に被覆・保護されて、分化中の木部細胞が剥皮食害の刺激を受けて脱分化・初期化されて、カルスを形成することなく、新たな形成層始原細胞になる可能性があると推測される。エゴノキを含め、樹皮が再生する可能性が高い樹種に共通した木材解剖学的特徴は、小径道管の散孔材で、短接線状ないし3細胞幅以下の狭い帯状の独立柔組織を持つことであり、そのような軸方向柔組織に分化中の細胞層から形成層が再生する可能性が示唆される。

キーワード：樹皮再生、木部柔細胞、形成層、カルス

### 1. 緒言

シカによる剥皮が原因と思われる枯死木が多くなった1980年代の大台ヶ原での調査で、特定の樹種が剥皮を多く受ける傾向が認められている(関根・佐藤1992)。シカの採食植物の多様性は、近年までの文献調査の結果、114科646種が採食植物と判断されている(橋本・藤木2014)。山中・林(2013)は、シカによる「剥皮害」の樹種別調査を行い、剥皮で枯死し易い樹種は「剥皮害」の割合が低くなる可能性を指摘し、さらに「出現本数と胸高断面積合計が高かった」樹種は「剥皮害を受けている割合も高かった」と考察しているが、剥皮食害後の生存については明述していない。

多くの樹種では剥皮食害による形成層の喪失が原因で枯死に至ると考えられるが、リョウブ (*Clethra barbinervis*) とナツツバキ (*Stewartia pseudocamellia*) は激しい剥皮食害の後もすぐには枯死せず、その要因は、外樹皮が剥がれ易く、内樹皮が残るためと考察されている(Akashi and Nakashizuka 1999)が、それは肉眼的観察に基づいている(明石 信廣, 私信)。特に、リョウブが剥皮されても樹皮を容易に再生することは、複数の観察結果で報告されている(Akashi and Nakashizuka 1999, 森林総合研究所四国支所 2006, 釜田ら 2008, 阪上ら 2021)。

樹木の傷害組織の形成に関しては、「樹幹木部の傷は、傷を受けたあとの形成層活動により被覆(巻き込み)あるいは充填されることによって治癒する」、「一般に外傷の近傍では、材形成が活発化し、新生組織が露出材部を

覆うように張り出し」、「外傷に面した部分には、不定形の柔細胞からなるカルスが形成される」と教科書(佐野2011)に記述されている。しかし、著者の観察では、著しい剥皮食害を受けたと見えるリョウブおよびエゴノキ (*Styrax japonicus*) の樹幹には傷害反応の巻込みがほとんど見られず、巻込みに依らないで樹皮を再生しているように見えた。

本研究の目的は、エゴノキの幹の剥皮食害部位を顕微鏡観察することにより、解剖学的に樹皮再生の要因を探ることである。

### 2. 試料と方法

試料採取地は京都府京都市左京区の滝谷山周辺(標高約800m)の広葉樹二次林で、この地域は2011年に実施された下層植生の衰退度の調査の結果、シカの採食があり、低木層の植被率が75.5%以上もしくは38%以上75.5%未満の林分に区分されている(芝原ら2014)。しかし、試料採取地の周辺では複数箇所植林スギ(樹齢約50年)が数本ずつシカによる剥皮食害を受けていた。また、広葉樹二次林の林内はディアラインがかなり明瞭で、林床にはアセビ (*Pieris japonica*) 等のシカが好まない植物のみが残っている状態であり(Fig. 1)、藤木(2012)が写真で示した下層植生衰退度2-3の林相例に相当するよう見えた。

試料木は、エゴノキ (*Styrax japonicus*) 1個体を用いた。胸高直径は約10cmであった。2012年6月27日、シカ

原稿受付：令和3年12月22日 原稿受理：令和4年10月18日

<sup>1)</sup>元森林総合研究所

\* E-mail: tomoyuki63fujii@gmail.com



Fig. 1. 試料採取地近傍の広葉樹二次林と隣接のスギ人工林  
A secondary broad-leaved forest near the sampling site and an adjacent sugi plantation

による剥皮食害を受けて間もないと思われるエゴノキの樹幹 (Fig. 2a) には、地際近くから胸高付近まで軸方向に長く伸びた有限長の不定形带状で淡く緑色を帯びた半透明の白色の領域と、同様に有限長の不定形带状であるが淡褐色で表面が比較的平坦な樹皮の領域があった。前者は、比較的新鮮な様相で、剥皮食害後間もない「剥皮食害面」と推察した (Fig. 2b)。後者は、外周で隣接する健全樹皮の端から小規模の巻込みがあり、前年の剥皮食害後に再生した樹皮「再生樹皮」と推察した (Fig. 2b)。

前年に剥皮食害を受けた後に樹皮が再生したと思われる「再生樹皮」の胸高部位 (試料 1: Fig. 2b and 2c) およびその近傍で剥皮食害後間もないと思われる部位「剥皮食害面」 (試料 2: Fig. 2b and 2d) を、レーザーパンチ (それぞれの内径 7 mm と 10 mm) を用いて、樹皮から木部までを打ち抜いた。試料 1 は、試料採取時に木部側 (試料 1-A) と樹皮側 (試料 1-B) とに分離してしまったため、採取を 3 回繰り返したが、樹皮から木部までが連続した状態を

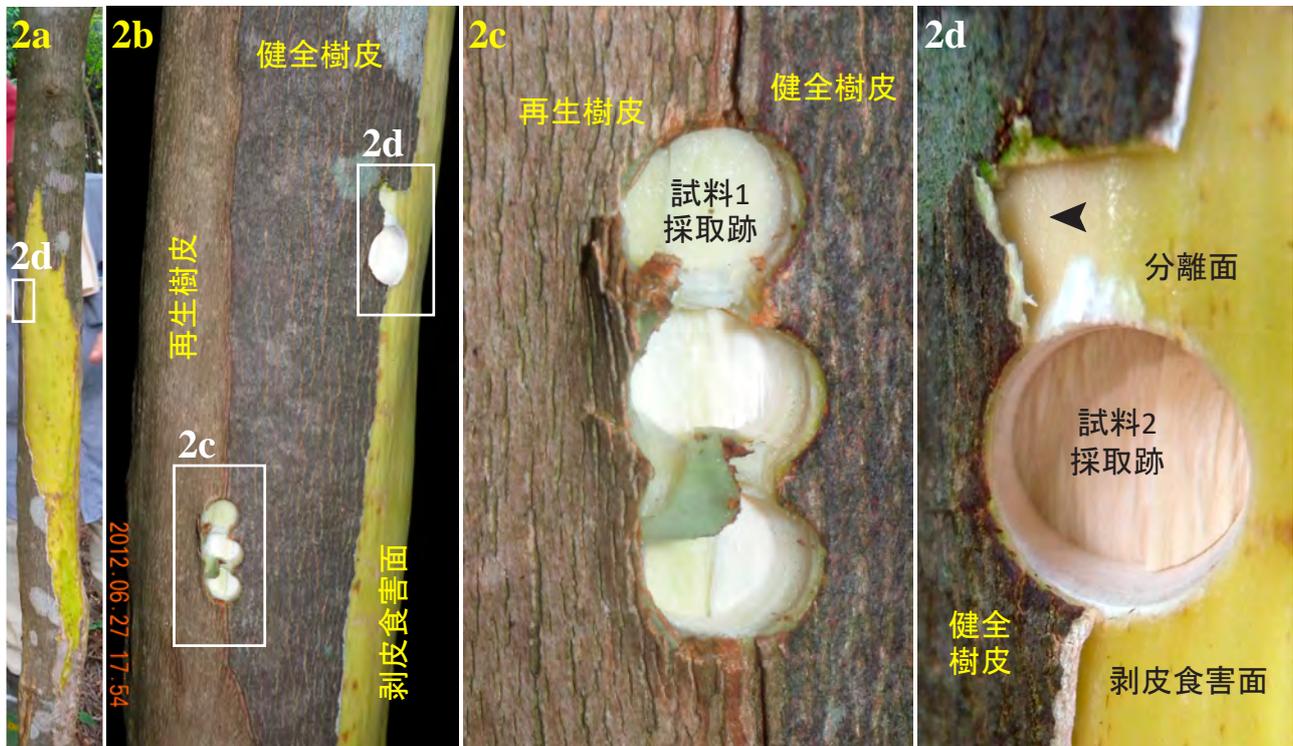


Fig. 2. 試料採取木

Sampling of an outer layer of Egonoki (*Styrax japonicus*) on June 27, 2012 in Kyoto

2a: 試料採取木の樹幹の剥皮食害部と試料 2 採取位置 (2d)。2b: 試料 1 (2c) および試料 2 (2d) の採取位置。2c: 試料 1: 前年中にシカ剥皮食害を受けた後に再生したと思われる樹皮「再生樹皮」と健全樹皮の境界、試料採取跡の直径: 7 mm。  
2d: 試料 2: シカ剥皮食害後間もない剥皮部位「剥皮食害面」と健全樹皮の境界、試料採取跡の左上は採取により樹皮が剥離した部分 (分離面)、試料採取跡の直径: 10 mm。

2a: Bark-stripped stem of the sampling tree and one of the sampling positions (2d: Sample-2).

2b: Sampling positions of Sample-1 (2c) and Sample-2 (2d).

2c: Sample-1 were punched (7 mm in diameter) out around the boundary between the intact bark (right) and the "regenerated bark" which seems to have been regenerated after bark-stripping in the previous year (left).

2d: Sample-2 was punched (10 mm in diameter) out around the boundary between the intact bark (left) and the "bark-stripping surface" seemingly soon after bark-stripping by sika deer (right). The "bark-stripping surface" is supposed to be covered with translucent material with whitish color and a light green tinge, considering a fresh peeled surface (▶) in the upper left of the sampling trace is almost pure white.

保持した試料片を採取することはできなかった。採取した試料片の全てを直ちに化学固定液 (2% グルタルアルデヒド/リン酸緩衝液) に浸漬して持ち帰り、冷蔵庫に保管した。

試料 1 の分離した樹皮側試料片 (試料 1-B) からは、前年の剥皮食害後に再生したと思われる樹皮「再生樹皮」と樹皮側分離面近傍の組織を観察するために、再生樹皮と健全樹皮の境界を含む小片 (軸方向および接線方向に一辺 2 ~ 3 mm 程度、放射方向は試料片全体) を切り出した。木部側試料片 (試料 1-A) からは、木部側分離面近傍の組織とともに、剥皮食害を受けたと思われる前年成長期に形成された前年輪の木部組織を観察するために、小片を切り出した。試料 2 からは、剥皮食害後間もない剥皮食害面を含む小片を切り出した。それらの小片はエタノール・シリーズで脱水した後、プロピレンオキサイドを経て、エポキシ樹脂 (Epok 812) に包埋した。試料の分類は下記の通りである。

試料 1: 前年度の剥皮食害を受けた後に樹皮が再生したと思われる部位

試料 1-A: 分離した木部側

試料 1-B: 分離した再生樹皮側

試料 2: 剥皮食害後間もないと思われる部位

樹脂包埋試料から、厚さ 3  $\mu\text{m}$  の木口面の薄切片を切り出した。切片切削には、ガラスナイフ (ガラスナイフメーカー EM-25 型, 日新 EM で作製) を装着した回転式マイクロトーム (ヤマト PR-50) を用いた。薄切片は、スライドガラス上で 1% サフラニン -0.5% ゲンチャンバイオレット混合液で二重染色し、エタノールで洗浄・脱水し、キシレンを経て、カナダバルサムで封入した。プレパラートを偏光顕微鏡 (Nikon Eclipse E600 POL) で観察し、アナライザーを出し入れして、普通光学顕微鏡像 (染色像) と偏光顕微鏡像 (偏光像) を同一視野で撮影した。偏光像では、二次壁は結晶構造を持つセルロースを構成要素とするマイクロフィブリルが密でかつ配列の平行性が高いため、マイクロフィブリル傾角が大きな二次壁外層 ( $S_1$  層) は顕著に明るく見えるが、一次壁はマイクロフィブリルの密度が疎であるために明るく見えない (原田 1985)。染色像と偏光像ともに不明瞭な極めて薄壁の細胞は、暗視野像で確認し、微分干渉顕微鏡 (Zeiss AXIO) で微分干渉像を、位相差顕微鏡 (位相差装置を装備した Nikon Eclipse E200) で位相差像を、それぞれ観察・撮影した。

### 3. 観察結果

#### 3.1. 人為的剥皮による分離面の組織 (試料 1)

試料 1-A (分離木部) (Fig. 2c) では、当年輪には既に完成された木部があり、その外側に偏光像で細胞壁が明るく見える二次壁形成帯があり、そこには染色像では薄壁で不明瞭で偏光像で明るく見える、二次壁形成初期の数

細胞層が含まれていた (Fig. 3a and 3b、以下、光学顕微鏡画像では、放射方向を上下方向とし、上方向を樹幹の外方向に設定した)。さらにその外側の分離面に面した最外層は、細胞壁が染色されず、偏光像でも明るくない、極めて薄壁の細胞で構成されていた。この部分は一次壁帯で、直径拡大途中の道管要素も含まれ、道管要素を含まない放射方向列で数えると 15 細胞層程度であった (Fig. 3c)。しかし、そこには形成層帯と考えるべき薄壁で極めて扁平な細胞の層は観察されなかった。

試料 1-B (分離再生樹皮) (Fig. 2c) では、染色像 (Fig. 4a) では二次師部を構成する薄壁の細胞の細胞壁がよく染色され、偏光像 (Fig. 4b) ではそれらの細胞壁が明るく見える二次壁を持つことが観察された。その内側 (顕微鏡像の下方向) に染色像でも偏光像でも観察が困難な非常

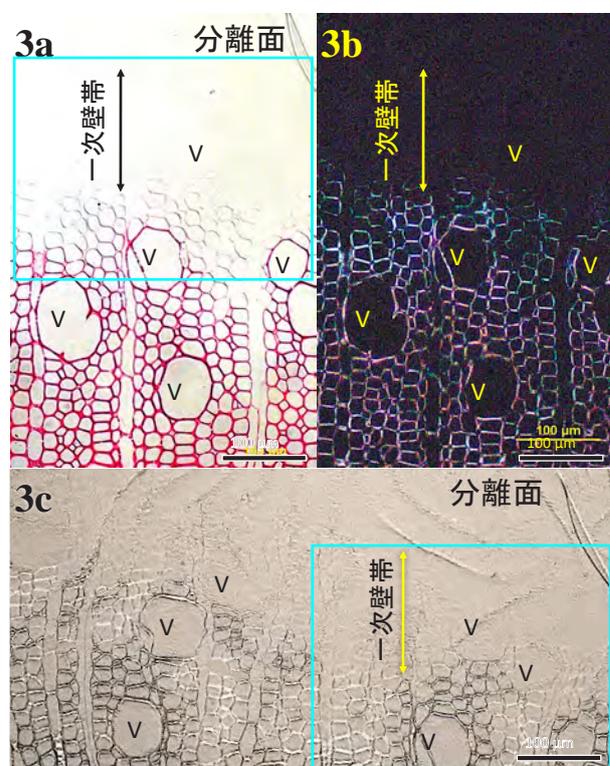


Fig. 3. 試料 1-A: 分離試料の木部側の木口面切片  
Micrographs of xylem side of separated Sample-1-A in cross section

- 3a: 染色像。3b: 3a と同一視野の偏光像。3c: 微分干渉像、枠は 3a の枠と同一視野。V: 道管要素
- 3a: Ordinary light micrograph. The outermost layer on the separated xylem-side of Sample-1-A is a developing-xylem-tissue with a wider primary-wall-zone (range of double-headed arrow) and without a cambial zone.
- 3b: Polarized-light micrograph of the same field as 3a showing bright xylem elements with secondary wall development and a dark primary wall zone (range of double-headed arrow).
- 3c: Phase-contrast micrograph including the same frame as 3a showing extremely thin-walled xylem elements in the primary wall zone (range of double-headed arrow).
- V: Vessel.

に薄壁の細胞が放射方向に配列した細胞層があった。位相差像 (Fig. 4c) で観察可能な一次壁帯である。一次壁帯の内、二次師部に隣接して、やや扁平な外形の 2~3 細胞層、部位によっては 5~6 細胞層の分化過程の師部細胞があった。次に 2~4 細胞層の顕著に扁平な細胞と、それらと混在して放射組織の放射径が最も小径 (最も扁平な外形) の細胞があり、この細胞層が形成層帯と考えられる。さらにその木部側では放射径がやや大きな、一

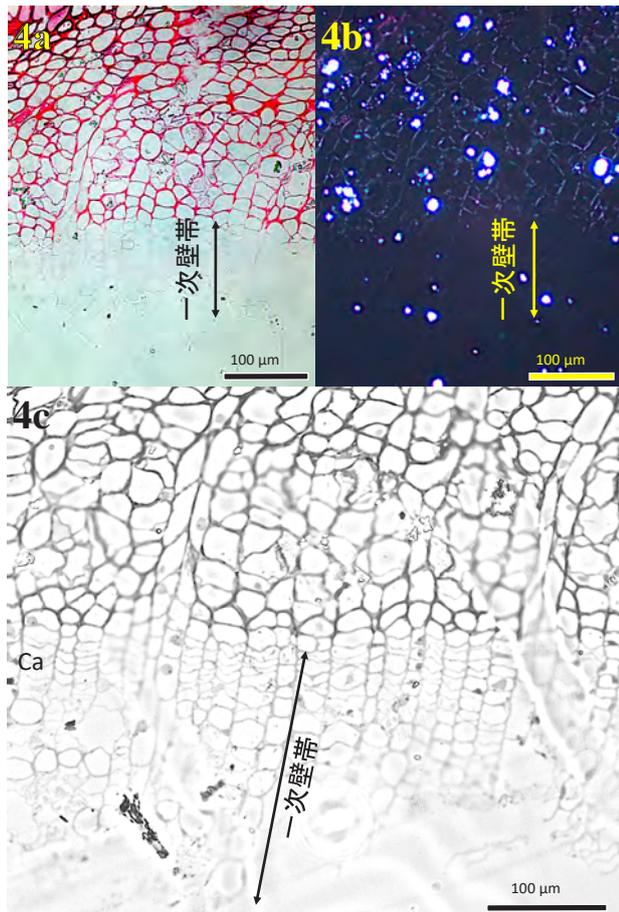


Fig. 4. 試料 1-B: 分離試料の樹皮側木口面切片  
Micrographs of bark side of separated Sample-1-B in cross section

4a: 染色像。4b: 4a と同一視野の偏光像。4c: 位相差像。  
Ca: 形成層帯

4a: Ordinary light micrograph. The innermost surface on the separated bark-side of Sample-1-B was a rather wider layer of thin-walled-cells, presumably composed of a cambial zone and a developing phloem.

4b: Polarized-light micrograph of the same field as 4a, showing weakly birefringent phloem elements including some elements with secondary wall development and a dark primary wall zone (range of double-headed arrow).

4c: Phase-contrast micrograph, showing thin-walled phloem elements and developing phloem and xylem elements in the primary wall zone with a cambial zone between them (range of double-headed arrow).

Ca: cambial zone.

次壁帯の 7~10 細胞層があり、部分的にはさらに木部側の細胞が幅広く続く部位もあり、細胞径を拡大途中の一次壁帯の道管要素も含まれていることもあった。エゴノキでも、人為的な剥皮では、形成層帯近傍は木部分化帯の一次壁帯で分断され、形成層帯は木部側に残存しないことを示している。

### 3.2. 剥皮食害面の木部組織 (試料2)

剥皮食害後間もない比較的新鮮な剥皮食害面 (Fig. 2d) は、淡く緑色を帯びた半透明の層で覆われている様に見えた。樹脂包埋試料をルーペで観察した結果、エポキシ樹脂に浮かぶ様に不均一に分布する帯緑淡褐色の不定形物を木部試料片の外に確認することができた。しかし、切片の光学顕微鏡観察では実体は明らかではなく、そこには形成層帯の細胞残渣のような極薄壁の細胞の残骸も検出できなかった。一方、試料採取で人為的に剥皮した直後の木部側の分離面は「試料 2 採取跡」の左上に見えているように無色の濡れ色で (Fig. 2d ▶)、その材色は試料採取跡の底面に見える新鮮木部と同じで (Fig. 2d 試料 2 採取跡)、白色ないし淡い紅褐色を帯びた白色であった。

試料 2 (剥皮食害部木部) では、当年輪の年輪当初領域の木繊維は、染色像では細胞壁厚がほぼ均一で (Fig. 5a)、偏光像では二次壁外層 ( $S_1$  層) が明確に明るく観察され (Fig. 5b)、二次壁が完成されていた。その外側は二次壁形成帯で、木繊維壁は形成層に向かって徐々に薄くなっていて、その最外部では、2~3 層の木繊維壁は顕著に薄くて染色像で不明瞭で、 $S_1$  層のみが偏光像で検出された。道管要素の二次壁の肥厚過程も同様であった。これらの二次壁堆積過程にある木部細胞は、位相差像 (Fig. 5c) で見られるように、原形質分離した原形質を持っていた。

それらの二次壁堆積過程にある木繊維の外側に、剥皮食害面に面して、染色されず偏光像でも明るくない細胞の層が暗視野観察で検出され、微分干渉像および位相差像では、極めて薄壁の一次壁のみの比較的小径の細胞が 1~2 層、まれに 4 層が観察できた (Fig. 5c)。一部の道管要素では、外周の外側部分の細胞壁が破断されている様に見えた。3.1. で人為的な剥皮による樹皮と木部の分離面の観察結果で示したように、分離面が形成層帯の木部側一次壁帯であることを考慮すると、剥皮食害では、機械的分離で残存した木部分化帯の一次壁帯までもそのほとんどが喪失していることを示唆している。

また、Fig. 2b に示したように試料 1 と試料 2 は同一樹幹の比較的近接した部位であったが、Fig. 5 と Fig. 7 の比較で明らかのように、当年度の木部形成量は、試料 1-A (分離木部) に比べて、当年度に剥皮食害を受けた試料 2 (剥皮食害部木部) で明らかに狭かった。このことは試料 2 では、形成層活動期の比較的早期に剥皮食害部で剥皮され、その後の木部分化帯での細胞壁形成が滞滞したことを示唆している。

### 3.3. 前年の剥皮食害後に再生した樹皮の組織と構造 (試料 1-B)

Fig. 6a は試料 1-B (分離再生樹皮) の再生樹皮と健全樹皮の境界を含む木口面切片の染色像である。画像の大半は、試料採取時に肉眼的には前年の剥皮食害後に再生したと思われた樹皮 (再生樹皮) であり、右端に隣接の健全樹皮の端から張り出した小規模な巻込みの樹皮組織が見られる。

再生樹皮は、接線帯状の周皮によって明確に内樹皮と外樹皮が区切られていた (Fig. 6)。周皮の中央には、濃色に染色される内容物で充填され、著しく扁平で、偏光像では暗く見える細胞の層があり (Fig. 6b and 6c)、これがコルク形成層帯と考えられる。その内側には 2~3 細胞層のコルク皮層があり、外側には、著しく扁平で、やや

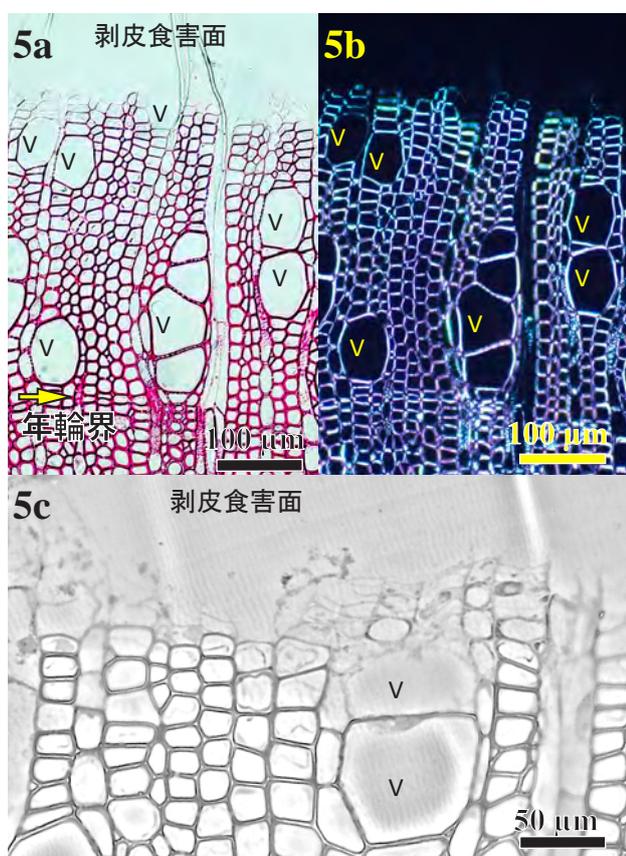


Fig. 5. 試料 2: 剥皮食害後間もない剥皮食害部の木口面切片

#### Micrographs of Sample-2, soon after bark-stripping, in cross section

- 5a: 染色像。5b: 5a と同一視野の偏光像。5c: 剥皮食害面近傍の位相差像。V: 道管要素
- 5a: Ordinary light micrograph. The current year growth ring (arrow: growth ring boundary) in Sample-2 was apparently narrower than that in Sample-1-A (compare with Fig. 5a and Fig. 7a).
- 5b: Polarized-light micrograph of the same field as 5a.
- 5c: Phase-contrast micrograph showing that the outermost part of Sample-2 was composed of developing xylem elements in 1 to 2-cell-layers with primary walls.
- V: Vessel.

薄壁の細胞と明確に厚壁の細胞がそれぞれの細胞層の数を変化させながら接線状の帯を形成しており、コルク組織と考えられる。コルク皮層からコルク組織までが周皮である。

周皮より内側が内樹皮である。内樹皮を構成する細胞は薄壁であるが明瞭に染色され (Fig. 4a and 6b)、偏光像で明るく見える二次壁を持っていた (Fig. 4b and 6c)。内樹皮はさらに染色濃度の違いで内層と外層に分けることができた (Fig. 4a and 6b)。その内層では、接線径がほぼ均一で、やや円形の細胞 (師部柔細胞) と窪んだ矩形の細胞 (師管要素)、それに隣接する顕著に小径の細胞 (伴細胞) の配列が観察できた。その木部側は師部分化帯を含む形成層帯と考えられ、非常に薄壁でかつ放射径が著しく小さく扁平な細胞が数層あった。

内樹皮の外層には、顕著に大径で非常に厚壁のスクレレイド (Fig. 6a, ▶) が低密度に散在する領域を曖昧な境として、接線方向にやや引き伸ばされ、やや濃色でやや厚壁の細胞が多少とも整然と配列していた。前年中に形成された内樹皮である可能性がある。

外樹皮は周皮より外側で、死細胞のみが存在する。外樹皮の厚さは内樹皮とほぼ同じ程度であった。内樹皮に類似した細胞配列が見られたが、偏光像で明るい明確な二次壁を持った細胞が放射列に配列していた (Fig. 6b and 6c)。そのほとんどの細胞が周皮で隔絶された師部組織の細胞と思われたが、偏光像で明るく見える細胞が多く出現し、内樹皮とは明らかな違いがあった。そこにはスクレレイドが観察されなかった。剥皮食害後に早期に樹皮が再生され、その師部柔細胞の一部からスクレレイドが再分化する前に、周皮が早期に発達して隔絶されたことが推察される。

外樹皮の最外層には、濃色に染色され、潰れているが直径が不均一な細胞の層があり、画像右端に見られる健全全部の外樹皮が剥皮部に張り出した部位で、その端の内側面の最外層に連続していた (Fig. 6a 右端)。

Fig. 6a の右端は健全な樹皮の端であり、内樹皮の外層と同様の細胞配列が見られ、厚壁で大径のスクレレイドが散在していた (Fig. 6a, ▶)。外樹皮の外表面には一部に周皮が残っていたが、外樹皮内には周皮は観察されなかった。形成後 1 年程度と考えられる再生樹皮 (Fig. 6b) に 1 層の周皮が既に形成されていたことを考慮すると、外樹皮は周皮を境界として剥落し易いと推察される。

### 3.4. 前年形成木部に残る剥皮食害の痕跡 (試料 1-A)

試料 1-A (分離木部) の前年に形成された木部 (Fig. 7a) に、前年当初の年輪界から年輪幅の 1/3 程度の位置に、やや大径で丸みを帯びた数個の柔細胞の集団があった (Fig. 7b and 7c)。そのうち 1 個の柔細胞は、やや大径化した軸方向柔細胞が放射柔細胞と融合した様な変形した外形を持ち、その水平壁には放射柔細胞と同様に小径の単壁孔が密に散在していた (Fig. 7b and 7c, ▶)。傷害組織の

カルス細胞群のようにも見えるが、小規模で局所的である。

別の部位 (Fig. 7d) では、隣接する放射柔細胞壁と同じ染色性と厚さの細胞壁を持つ細胞が 1 個あり、偏光像では木繊維壁の  $S_1$  層と同等の明るさを示していた (Fig. 7d and 7e, ☆)。その横断面形状は窪んだ外形を持っていて、隣接する放射柔細胞との間は直線的で異常はなかったが、周囲の 4 個の木繊維のうち、形成層側の 3 個の木繊維の横断面外形が丸く膨らんでいた。この様な形態と細胞壁を持つ細胞は、カシヤマツ (*Pinus kesiya*) の異常組織に観察された、外的要因で二次壁形成を中断された仮道管と非常に類似している (Fujii and Sugawa 1985, Sugawa and Fujii 1985)。さらにその近傍からやや形成層側にかけて、やや厚壁で、かつ偏光像ではやや明るく見えることから二次壁中層 ( $S_2$  層) のマイクロフィブリル傾角がやや大きいと推測される木繊維が接線方向に広がる細胞群が検出できた (Fig. 7f)。

### 3.5. 「樹皮再生樹種」の木材解剖学的特徴

エゴノキの木材は、道管が小径 (直径 50 ~ 100  $\mu\text{m}$ ) で比較的数量多く、ほぼ均一に散在する典型的な散孔材であり、小径の有縁壁孔を持つ木繊維を基本組織として、やや薄壁でやや扁平でかつ偏光像では明るく見える

細胞壁を持つ軸方向柔細胞が 1 ~ 2 細胞層で接線状に連続して配列する带状柔組織ないし断続的な短接線状の独立柔組織が周期的に繰り返されている (Fig. 7a, f)。この様なエゴノキの木材解剖学的特徴を、剥皮食害後に樹皮を再生させている可能性が報告されている樹種 (以下、樹皮再生樹種) との共通点を調べてみた。樹皮再生樹種として記録があるのは、リョウブとナツツバキ (Akashi and Nakashizuka 1999)、サラサドウダン (*Enkianthus campanulatus*) (阪上ら 2021)、ミズキ (*Cornus controversa*) (氷ノ山の植物誌 2010)、トチュウ (*Eucommia ulmoides*) (Li and Cui 1988) そして lime tree (*Tilia* sp.) (Strobbe et al. 2002) の広葉樹 6 種である。これらの樹種に共通した木材解剖学的な特徴を、森林総合研究所の「日本産木材識別データベース」、「日本産木材データベース」、「InsideWood」および Itoh et al. (2022 onwards) に基づき、抽出した。さらに、剥皮程度大・剥皮率が大・剥皮割合や採食割合が高とされた樹種 (以下、嗜好樹種) として報告されている樹種は樹皮を再生する可能性を否定できないので、それら下記の広葉樹 13 種と 2 属を対象に加えた (Table 1)。ガマズミ属 (*Viburnum* spp.) (Akashi and Nakashizuka 1999)・ナナカマド (*Sorbus commixta*) (釜田ら 2008)・マンサク (*Hamamelis japonica*) (釜田ら 2008)・ノリウツギ (*Hydrangea paniculata*) (関根・佐藤 1992)・クロモジ

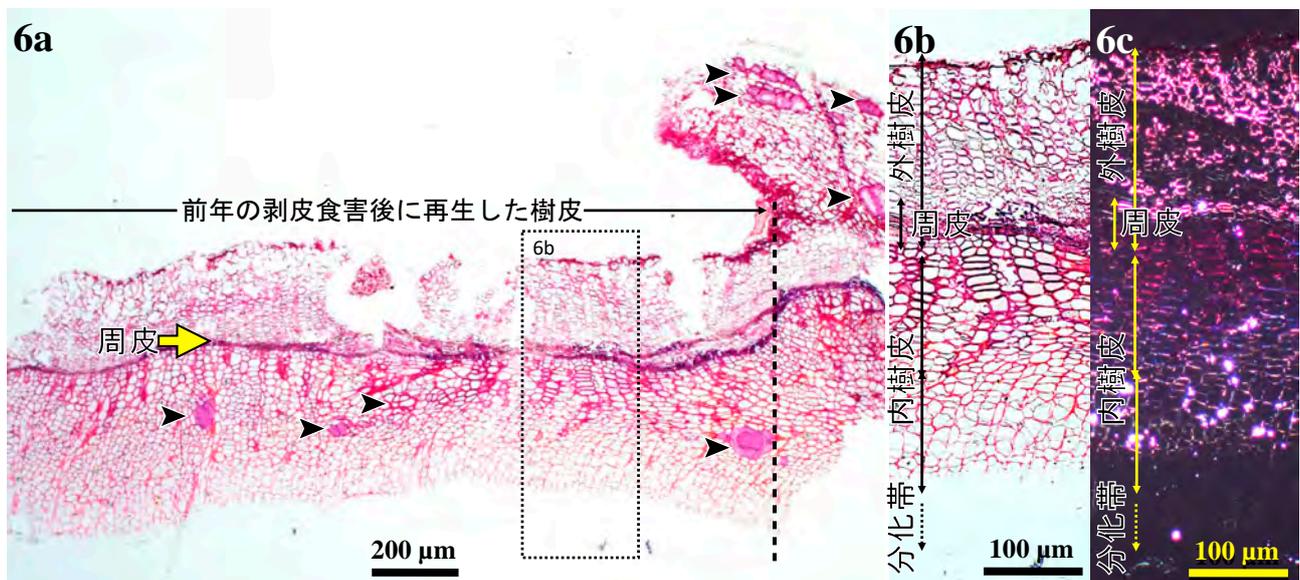


Fig. 6. 試料 1-B: 前年の剥皮食害後に再生したと思われる樹皮の木口面切片

Micrographs of bark side of separated Sample-1-B in cross section showing the regenerated bark after the previous year's bark-stripping and the boundary to intact bark.

- 6a: 再生樹皮とその右端の健全樹皮から小規模な巻込みの張り出し部分の染色像。6b: 6a の部分拡大。6c: 6b と同一視野の偏光像。▶: スクレレイド
- 6a: Ordinary light micrograph of the regenerated bark and the overhanging part of wound-healing tissue from intact bark on the right end. The regenerated bark consisted of an inner bark and an outer bark isolated by the periderm (arrow). Depending on the difference in staining concentration, the inner bark is further divided into an inner layer and an outer layer where large sclereids (▶) are scattered, characterized by very thick walls.
- 6b: Partial enlargement of 6a, but developing zone (broken line) is not clearly visible.
- 6c: Polarized-light micrograph of the same field as 6b. The elements in the outer bark are conspicuously brighter than those in the inner bark.

(*Lindera umbellata*) (河野ら 2018)・フウリンウメモドキ (*Ilex geniculata*) (関根・佐藤 1992, Akashi and Nakashizuka 1999, 釜田ら 2008)・クマノミズキ (*Cornus macrophylla*) (河野ら 2018)・カナクギノキ (*Lindera erythrocarpa*) (河野ら 2018)・アラカシ (*Quercus glauca*) (河野ら 2018)・タカノツメ (*Gamblea innovans*) (河野ら 2018)・ヒロハノツリバナ (*Euonymus macropterus*) (関根・佐藤 1992)・カエデ属 (*Acer* spp.) (関根・佐藤 1992, 釜田ら 2008)・アオダモ (*Fraxinus lanuginosa*) (関根・佐藤 1992, 釜田ら 2008)・スダジイ (*Castanopsis sieboldii* subsp. *sieboldii*) (河野ら 2018)・ツタウルシ (*Rhus ambigua*) (関根・佐藤 1992)。樹皮再生樹種は、小径道管の散孔材樹種で、短接線状ないし狭い (3 細胞幅以下) 帯状の独立柔組織を持つことが共通した特徴として注目される。一方、嗜好樹種では、半数程度の樹種もまた樹皮再生樹種と共通した特徴を持っている。

「短接線状～帯状の独立柔組織」の特徴を持つ木材では、

軸方向柔細胞が道管とは関係なく、接線方向に多少とも連続して密接しており、限定された範囲では形成層と同様の接線面を形成していると考えられる。木部分化帯においても、分化途中の軸方向柔細胞がほぼ連続する接線面を構成しているはずである。

#### 4. 考察

##### 4.1. 傷害面全体でのカルス (surface callus) の発達による形成層の再生

獣害によって樹皮が剥皮された樹木の樹皮の再生を扱った最近の研究報告 (阪上ら 2021) でも、一般的には「その部位は再生せず、被害を受けていない周囲の形成層が細胞分裂し、被害部位を覆って修復される」と記述している。教科書 (佐野 2011) にも、「樹幹木部の傷は、・・・傷を受けたあとの形成層活動により被覆 (巻き込み) あるいは充填することによって治癒する。・・・一般に外傷近傍では、材形成が活発化し、新生組織が露出材部を覆うように張り出してくる。・・・外傷に面した部分には、不定形の柔細胞からなるカルス (callus) 組織が形成される。カルスにより外気から隔てられると、本来の構成要素からなる組織が形成されるようになる・・・」と記述されている。しかし、本研究におけるエゴノキの剥皮食害部の顕微鏡観察では、巻き込みの樹皮組織は再生樹皮の端の小規模なものであり (Fig. 6)、前年形成木部には剥皮食害の痕跡と考えられる小規模な異常組織が観察されたが (Fig. 7)、露出部分を覆うように張り出してくる新生組織やカルスは観察されなかったため、一般的な巻き込みを

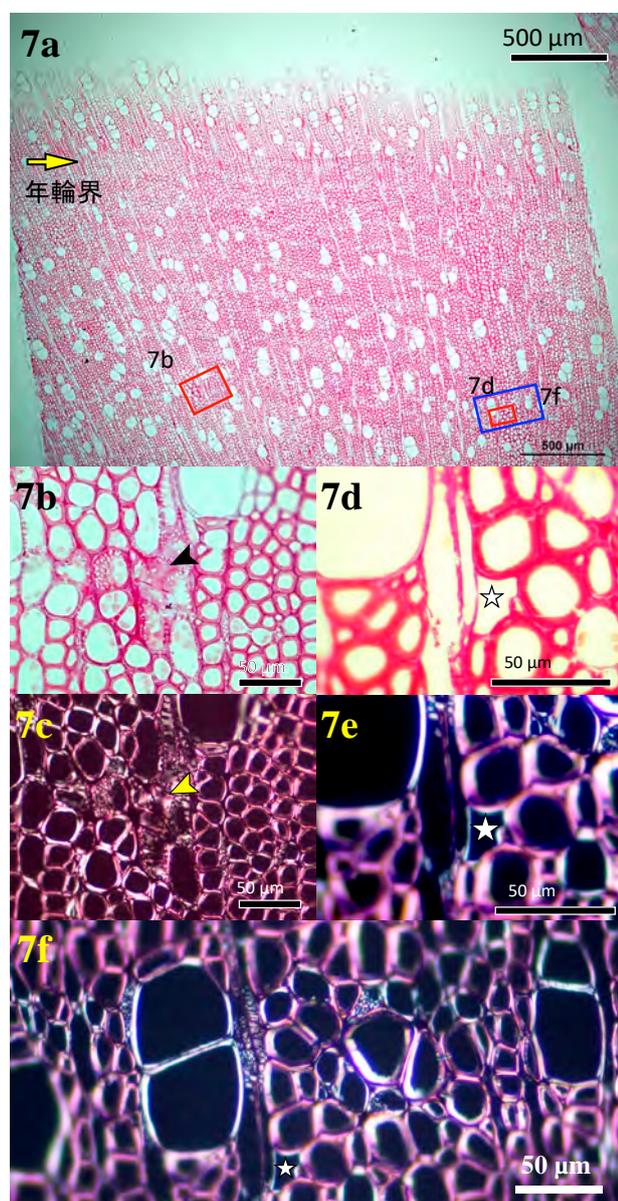


Fig. 7. 試料 1-A (分離木部) の木口面切片

##### Micrographs of xylem side of separated Sample-1-A in cross section.

- 7a: 最外年輪および前年度形成年輪の染色像。7b: 7a の部分拡大、異常な柔細胞の集団 (▶)。7d: 7a の部分拡大、変形した薄壁細胞 (☆)。7c and 7e: それぞれ 7b と 7d の同一視野の偏光像。7f: 7a の部分拡大、7e の近傍の異常二次壁の木繊維群、偏光像。
- 7a: Ordinary light micrograph of growth rings of the current and the previous years (arrow: growth ring boundary) showing the locations of abnormal tissues locating approximately in the same relative position within the annual growth ring.
- 7b: Partial enlargement of 7a. Axial parenchyma cell slightly expanded and deformed (▶) is apparently fusing with a ray parenchyma cell and shows dense, small simple pits in the horizontal wall, and forming part of traumatic parenchyma.
- 7c and 7e: Polarized-light micrographs of the same field as 7b and 7d, respectively.
- 7d: Partial enlargement of 7a. Deformed thin-walled cell (☆).
- 7e: Deformed thin-walled cell (☆) shows one narrow distinct bright layer indicating the S<sub>1</sub> layer.
- 7f: Partial enlargement of 7a. A cluster of fibers with anomalous secondary walls having rather bright S<sub>2</sub> layer in polarized light indicating a rather flat-helixed microfibrillar orientation, near by the deformed thin-walled cell (☆) in 7e.

伴う治癒組織では形成層の再生を説明できない。

樹幹の外傷に対応した巻込みによる傷害組織の形成過程と形成層の再生過程については、Larson (1994) が、*Larix decidua* と *Picea abies* の傷害反応を詳細に顕微鏡観察した Bangerter (1983) の学位論文を引用して次のように解説している。すなわち、外傷による傷害の境界近くの形成層および未分化の細胞は潰れ、最初に放射組織始原細胞が垂層分裂して横方向に拡大し、活発な細胞分裂でカルス母細胞を生じさせる。その後、カルス組織の中で並層分裂由来の扁平な細胞の狭い帯が出現し、形成層が再生する。さらに、新生形成層は外傷の境界近傍の既存の形成層と連続し、外傷の中心へと進展し、最終的には反対側から発達してきた形成層帯と結合する。

しかし、形成層もしくは木部分化帯が機械的影響を受けない状態であれば、巻込みによらないで、傷害面全体でのカルス (surface callus) が形成されるという現象が 200 年前から知られている (Strobbe et al. 2002)。この現象の組織の発達過程を調べた Strobbe ら (2002) は、6 月に *Tilia* sp. の樹皮 (10 cm<sup>2</sup>) を剥皮し、黒色のポリエチレン膜で被覆し、1 ~ 16 週後に約 1 cm 角の小片試料を採取し、固定・包埋して、厚さ 6 μm の切片を光学顕微鏡で観察した。その結果、剥皮後の木部側表層に部分的に残留していた師

部と形成層帯は崩壊し、剥皮後に残った一次壁帯の木部細胞 (主に未分化の放射柔細胞) の細胞分裂でカルスが形成されていた。その結果に基づいて、一次壁帯の木部細胞に由来するカルスの内方で形成層が再生したと考察している。また、Li and Cui (1988) は、樹幹を軸方向に 1 ~ 2 m を完全に剥皮したトチュウ (*Eucommia ulmoides*) では、露出した未熟な木部 (特に、放射組織が示唆される) からカルスが生成し、その深部 (木部側) に初期の形成層が分化することを示唆している。阪上ら (2021) は、ニホンジカの剥皮被害で樹幹の全周が剥皮されても大面積の樹皮が再生するサラサドウダンの樹幹から、剥皮被害の後の 8 月に試料を採取し、剥皮被害部の表面付近には、師部組織は存在せず、剥皮部位の再生は、「剥皮された部位で継続した細胞分裂が行われ、傷害柔組織を形成して直接修復作用が働いた結果、通常の木部形成が行われたと仮定」している。阪上ら (2021) の「剥皮された部位の表面付近は・・・核を有した小径で長方形の生細胞が分布しており・・・剥皮された後に形成された細胞であると推測できる。」との観察結果と考察は、傷害面全体でのカルス (surface callus) 中で形成層が再生する点では Strobbe ら (2002) および Li and Cui (1988) と共通している。ただし、再生形成層の分化位置がカルスの外方の表面近傍で

**Table 1. 樹皮再生樹種および代表的嗜好樹種の木材解剖学的特徴**  
**Wood anatomical features of bark-regenerating species and some deer-favorite tree species**

	和名 common name	学名 botanical name	管孔性 porosity	道管直径 (μm) vessel diameter	柔組織 axial parenchyma		
樹皮再生樹種 bark-regenerating species	リョウブ	<i>Clethra barbinervis</i>	散孔性	< 50	短接線状		
	ナツツバキ	<i>Stewartia pseudocamellia</i>	散孔性	50 ~ 100	短接線状		
	ミズキ	<i>Cornus controversa</i>	散孔性	50 ~ 100	短接線状		
	lime tree	<i>Tilia</i> sp.	散孔性	50 ~ 100	短接線状		
	トチュウ	<i>Eucommia ulmoides</i>	散孔性	< 50	短接線状		
	エゴノキ	<i>Styrax japonicus</i>	散孔性	50 ~ 100	狭い帯状		
	サラサドウダン	<i>Enkianthus campanulatus</i>	SR-D	半環孔性 (散孔性)	< 50	nb	狭い帯状
嗜好樹種 deer-favorite species	ガマズミ属	<i>Viburnum</i> spp.	散孔性	< 50	短接線状		
	ナナカマド	<i>Sorbus commixta</i>	散孔性	< 50	da	短接線状	
	マンサク	<i>Hamamelis japonica</i>	散孔性	< 50	短接線状		
	ノリウツギ	<i>Hydrangea paniculata</i>	散孔性	< 50	随伴散在		
	クロモジ	<i>Lindera umbellata</i>	D	散孔性	< 50	随伴散在	
	フウリンウメモドキ	<i>Ilex geniculata</i>	散孔性	< 50	nb	狭い帯状	
	クマノミズキ	<i>Cornus macrophylla</i>	散孔性	50 ~ 100	nb	短接線状	
	カナクキノキ	<i>Lindera erythrocarpa</i>	散孔性	50 ~ 100	d-c	独立散在~連合翼状	
	アラカシ	<i>Quercus glauca</i>	散孔性	100 ~ 200	nb	狭い帯状	
	タカノツメ	<i>Gamblea innovans</i>	SR	半環孔性	< 50	rare	きわめて稀
	ヒロハノツリバナ	<i>Euonymus macropterus</i>	散孔性	< 50	rare	きわめて稀	
	カエデ属	<i>Acer</i> spp.	D	散孔性	< 50	sp, Ap-like F bands	随伴散在, 柔組織様 木部繊維の帯
アオダモ	<i>Fraxinus lanuginosa</i>	環孔性	100 ~ 200	a-c	翼状~ 連合翼状		
スダジイ	<i>Castanopsis sieboldii</i> subsp. <i>sieboldii</i>	R	環孔性	100 ~ 200	nb	狭い帯状	
ツタウルシ	<i>Rhus ambigua</i>	環孔性	> 200	vs	周囲状		

D: diffuse porous, SR: semi-ring porous, R: ring porous

d: diffuse, da: diffuse-in-aggregates, nb: narrow band, sp: scanty paratracheal, c: confluent, Ap-like F bands: parenchyma-like fibre bands, a: aliform, vs: vasicentric

あるとする点で、それがカルスの内方とする Li and Cui (1988) および Strobbe ら (2002) とは異なる。

#### 4.2. 剥皮食害表面の被覆

Strobbe ら (2002) の傷害面全体でのカルス (surface callus) による形成層再生の試験では、剥皮直後に傷害面を被覆・保護している。環状剥皮後にはほぼ元通りの樹皮を再生するトチュウでも、山東省以外では被覆が必要とされる (Li and Cui 1988)。しかし、シカによる剥皮食害後に人為的な被覆が無いにもかかわらず、樹皮を再生する樹種がある。Strobbe ら (2002) が紹介する 200 年前から知られている傷害面全体でのカルス (surface callus) の形成も同様に人為的被覆はなかったと思われる。

本研究のエゴノキの樹幹では、6月27日の採取時に剥皮食害後間もないと推察した試料2の外表面は比較的新鮮な様相で、表層は淡く緑色を帯びた半透明の白色であった。被覆無しでも樹皮を再生する山東省のトチュウでは、剥皮面を覆う表層が剥皮後24時間以内に形成されることが報告されている (Li and Cui 1988)。エゴノキの樹幹でも、剥皮食害の直後に、剥皮食害への反応で、木部側の最外表面に露出した一次壁帯の細胞層から分泌された半透明の物質により短期間に被覆されたと推測される。今後の試験・調査により、どの様な物質がどのような細胞に由来するかが明らかになることを期待する。

#### 4.3. 形成層の再生後に残る傷害組織の痕跡

傷害面全体でのカルス (surface callus) が木部分化帯の一次壁帯の中に発達して、そのカルス中に形成層が再生するとの仮説を提案した Strobbe ら (2002) は、傷害時に既存の木部と新生木部の間にはほとんどの細胞が二次壁を持たない柔細胞からなる領域があり、傷痕として残り、この接線方向の配列を持った組織は傷害時の木部分化帯の位置にあると記述している。阪上ら (2021) も同様に、樹皮が再生した部位の木部に「その時期に形成層が何らかの傷害を受けたこと」を示唆する「傷害柔組織」の形成を観察している。

本研究のエゴノキの前年の剥皮食害後に樹皮を再生させた部位 (試料 1-A: 分離木部) の観察では、前年に形成された木部には接線方向に帯状に連続する傷害柔組織を検出できなかった。局所的には、変形した柔細胞群、変形した薄壁細胞そして異常な二次壁を持つ木繊維群が検出された。これらの異常組織・細胞は、年輪内の相対的位置がほぼ同じであり、試料 1-A (分離木部) が前年の成長期にシカによる剥皮食害を受けていたとの推測が正しければ、前年の剥皮食害に対応した傷害組織の痕跡である可能性が考えられる。しかし、不定形の柔細胞からなるカルスもしくは傷害柔組織とされる傷害組織とは異なる。また、剥皮食害時に木部分化帯にあって細胞壁形成を中断された細胞が、Strobbe ら (2002) や阪上ら (2021) が傷害時の木部分化帯の位置に観察した柔細胞からなる

層状の領域ではなく、孤立した1個の細胞であった事の観察結果は、ほとんどの部位では剥皮食害の刺激を受けても分化中の木部細胞が正常に分化を継続したことを示唆している。

#### 4.4. 再生形成層の木材解剖学的仮説

正常な形成層の始原細胞から派生した細胞が木部細胞に分化するのは、木部分化帯の一次壁帯においてであると考えられる。「樹皮再生樹種」は、小径道管の散孔材樹種で、短接線状ないし狭い (3細胞幅以下) 帯状の独立柔組織を持つことが共通した木材解剖学的特徴であり、そのような独立柔組織においてほぼ連続する接線面を構成する軸方向柔細胞は、始原細胞からの派生直後または一次壁帯において軸方向柔細胞への分化が運命づけられることになる。

Strobbe ら (2002) によれば、剥皮傷害後に細胞分裂で増殖するのはほとんどが未分化の木部細胞であり、Schmitt ら (2016) は、「傷害面全体でのカルス (surface callus) を形成するための最も重要な前提条件は、二次壁を持たない分化中の木部・師部細胞および形成層細胞の未分化細胞が傷害表面に残ることである」と記述している。本研究のエゴノキでは、剥皮食害後に木部分化帯の一次壁帯の未分化の細胞が最外表面に残っていたことから、半透明の層で被覆されたそれらの細胞から新たな形成層が再分化したと仮定することは妥当であろう。剥皮食害後に残った一次壁帯の細胞は未分化もしくは軸方向柔細胞への分化が運命づけられた段階であり、軸方向柔細胞が形成層帯で接線方向に多少とも連続して密接して分化するように、それらの細胞が剥皮食害の刺激を受けて形成層始原細胞に初期化され、形成層と同様の連続した接線面を容易に形成して、形成層を再構築する可能性を考えることができる。

#### 謝辞

顕微鏡画像観察および撮影は、組織材質研究室、微生物生態研究室および微生物研究領域の備品類を借用した。英文校閲は Dr. Pieter Baas (Naturalis Biodiversity Center and Leiden University, The Netherlands) による。記して感謝の意を表す。

#### 引用文献

- Akashi, N. and Nakashizuka, T. (1999) Effects of bark-stripping by Sika deer (*Cervus nippon*) on population dynamics of a mixed forest in Japan. *For. Ecol. Manage.*, 113, 75–82.
- Bangerter, U. M. (1983) Der Verschlussmechanismus von Längswunden am Stamm von *Larix decidua* Mill. und *Picea abies* (L.) Karst. *Vierteljahrsch Naturforsch Ges Zurich* 129, 339–398.
- Fujii, T. and Sugawa, T. (1985) Cell wall structure of abnormal

- tracheids of *Pinus kesiya*. 木材誌, 31, 237–245.
- 藤木 大介 (2012) ニホンジカによる森林生態系被害の広域評価手法マニュアル. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 4, 2–16.
- 原田 浩 (1985) V.-2.-(1) 壁層構成. 原田 浩・佐伯 浩編 “木材の構造”. 文英堂, 135–137.
- 橋本 佳延・藤木 大介 (2014) 日本におけるニホンジカの採食植物・不嗜好性植物リスト. 人と自然, 25, 133–160.
- 氷ノ山の植物誌 (2010) “シカによるミズキの樹皮剥ぎ”, [https://hyonosen-plants.at.webry.info/201007/article\\_3.html](https://hyonosen-plants.at.webry.info/201007/article_3.html), (参照 2021-11-4).
- InsideWood (2004 onwards) “Search The InsideWood Database”, <https://insidewood.lib.ncsu.edu/search>, (参照 2022-3-5).
- Itoh T. et al. (2022 onwards) “Anatomical Database and Atlas of Chinese Woods”, <https://www.kaiseisha-press.ne.jp/cnwood>, (参照 2022-3-5).
- 釜田 淳志・安藤 正規・柴田 叡弐 (2008) 樹種選択性, 選好性樹木の分布および土地利用頻度からみた大台ヶ原におけるニホンジカによる樹木剥皮の発生. 日林誌, 90, 174–181.
- 河野 圭太・久保 満佐子・藤巻 玲路 (2018) 島根県弥山山地におけるニホンジカの嗜好性が樹木の生育に及ぼす影響. 日緑工誌 44 (2), 330–339.
- Larson P. R. (1994) 10.2 Barrier Zone. In “*The Vascular Cambium Development and Structure*”. Springer-Verlag, 501–508.
- Li Z. and Cui K. (1988) Differentiation of secondary xylem after girdling. IAWA Bulletin n.s. 9, 375–383.
- 阪上 宏樹・後藤 栄治・新津 栄市・和田 正三 (2021) ハケ岳高原海の口自然郷内に群生するサラサドウダンのシカによって剥皮された樹皮の再生状況. 木材誌, 67, 188–196.
- 佐野 雄三 (2011) 第5章 2. 4) 傷害組織. 日本木材学会編, “木質の構造”. 文英堂, 216–218.
- Schmitt U. et al. (2016) Chapter 1 The Vascular Cambium of Trees and its Involvement in Defining Xylem Anatomy. In Kim YS Funada Singh (eds.) “*Secondary Xylem Biology*”, Elsevier, 3–24.
- 関根 達郎・佐藤 治雄 (1992) 大台ヶ原山におけるニホンジカによる樹木の剥皮. 日生態会誌, 42, 241–248.
- 芝原 淳・境 米造・井上 徹夫・安藤 正規 (2014) 京都府におけるニホンジカによる天然林および人工林被害の広域モニタリング. 日緑工誌, 39 (3), 389–394.
- 森林総合研究所 “日本産木材データベース”, <https://db.ffpri.go.jp/WoodDB/JWDB/home.php>, (参照2021-11-3).
- 森林総合研究所 “日本産木材識別データベース”, <https://db.ffpri.go.jp/WoodDB/IDBK/home.php>, (参照2021-11-3).
- 森林総合研究所四国支所 (2006) 平成17年度四国森林管理局委託事業「滑床山・黒尊山国有林の森林被害に関する研究」調査報告書. 林野庁, 61pp.
- Strobbe, H., Schmitt, U., Eckstein, D. and Dujesiefken, D. (2002) Developmental stages and fine structure of surface callus formed after debarking of living lime trees (*Tilia* sp.). *Annals of Botany*, 89, 773–782.
- Sugawa, T. and Fujii, T. (1985) Thin-walled tracheids in *Pinus kesiya* Royle ex Gordon. 木材誌, 31, 301–305.
- 山中 啓介・林 晋平 (2013) 松くい虫被害を受けた島根半島弥山山地の天然林の再生と管理にニホンジカが与える影響. 日緑工誌, 39 (2), 241–247.

## Anatomy of bark and xylem of Egonoki (*Styrax japonicus*) suffering from bark-stripping by sika deer

Tomoyuki FUJII<sup>1)\*</sup>

### Abstract

Bark-stripping by sika deer has often been reported to lead to high tree mortality. Only few species were reported to survive heavy bark-stripping. Here I report on bark recovery in Egonoki (*Styrax japonicus*), and discuss anatomical features related to successful bark recovery. The regenerated outer layer of a stem after bark-stripping in the previous year was investigated. The regenerated bark consisted of an inner bark and an outer bark segmented by a periderm. The innermost surface on the separated bark-side sample was a rather wider layer of thin-walled-cells, presumably composed of cambial zone and developing phloem. The outermost layer on the separated xylem-side was a developing-xylem-tissue with a wider primary-wall-zone but no apparent cambium remaining. Traumatic tissue was observed only as small traces in the previous-year's growth ring. In contrast, primary-wall-developing xylem elements were only in 1 to 2-cell-layers remaining on the outermost surface of the stem soon after bark-stripping, and was covered with a translucent substance. Interestingly, wood anatomical features common to tree species that can survive heavy bark-stripping by deer are "apotracheal axial parenchyma in tangential to oblique lines or in narrow bands" and "diffuse-porosity with narrow-diameter vessels". Cambium can be regenerated within a surface callus formed over the entire wound area for some species. Although traumatic parenchyma zone was not formed in Egonoki, wound cambium may regenerate similarly. The fact that axial parenchyma cells can form a more-or-less continuous tangential plane just like a cambium leads to the speculation that cells differentiating into axial parenchyma cells under the covering substance can be reprogrammed (dedifferentiated) into meristematic cells, comparable to cambial initials, by the stimulation of bark-stripping.

**Key words :** regenerated bark, axial parenchyma, cambium, surface callus

---

Received 22 December 2021, Accepted 18 October 2022

1) Forestry and Forest Products Research Institute

\* E-mail: tomoyuki63fujii@gmail.com



## 研究資料 (Research record)

# 林木育種における人工交配に使用する花粉銃の作成

松永 孝治<sup>1)\*</sup>

### 要旨

林木育種事業では多数の系統を同時に扱う大規模な人工交配作業を行う。人工交配作業は対象樹種の開花時期に、袋かけ、花粉採集、花粉の注入といった一連の作業を集約的に行うため、効率的に作業を行う必要がある。花粉銃は花粉の注入作業に必要な道具の一つであるが、近年、製造販売が中止され、入手が困難になっている。そこで、市販の資材等を用いて花粉銃の自作を試みた。その際、花粉の注入作業の効率を向上させるために、花粉の保存、貯蔵に用いるプラスチック容器を花粉銃に直接取り付けられるように工夫した。この自作花粉銃の重量は従来のもより0.6～7.7 g重かったが、充填可能な花粉量は1.9～2.8倍、花粉の噴出量は1.4～2.7倍であった。この結果は、自作花粉銃によって有効な人工交配が行えることを示唆する。また、花粉の容器の脱着は容易であり、花粉の充填・補充作業が従来より簡略化されると考えられた。

キーワード：花粉、作業効率、クロマツ、保存

### 1. はじめに

林木育種や森林遺伝の分野では次世代の母集団の作出や遺伝的な解析を行う実験材料を作出する際に、特定の系統の雌花に特定の系統の花粉を受粉させる人工交配を行う(栄花 1991, 近藤 2012, 倉本・藤澤 2013)。スギ(*Cryptomeria japonica*)・ヒノキ(*Chamaecyparis obtusa*)・アカマツ(*Pinus densiflora*)・クロマツ(*Pinus thunbergii*)等の人工交配では、まず雌花および雄花の開花前に、雌花が着生した枝から雄花を取り除き、残した雌花に不織布製の袋(交配袋)をかぶせて口を封じ、袋内への花粉の混入を防ぐ。その後、雌花の開花に合わせて、花粉銃を用いて、交配袋内に花粉を注入する。例えば森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター九州育種場におけるクロマツの人工交配では、雌花および雄花の開花に合わせて、交配袋の設置、花粉の採集、花粉の注入等の一連の作業を、年によって変動はあるが、2週間程度の短い間に集約的に行うため、効率的に作業を行う必要がある。

花粉銃は、人工交配に使用する道具の一つであり、ゴム球部を圧迫することで、容器に入れた花粉を空気とともに針先から噴出する構造を持つ(相田ら 1955, 野口ら 1991, Fig. 1)。以前は、花粉銃を社団法人林木育種協会から購入することができたが、2013年3月末に同協会が解散してから、その製造販売は千葉県の民間企業に引き継がれた。その後、2021年に同企業は花粉銃の製造販売を中止したとの情報が得られ、現在、花粉銃の新規の入手は困難な状況である。

林木育種分野で一般的に使用されてきた花粉銃は、外径2.5 cm(内径2.3 cm)程度のガラス瓶に花粉を入れて使

用するが、花粉の保存容器の直径はガラス瓶の直径より大きいことが多いため、ガラス瓶への花粉の充填はロート等を用いるなど慎重に行う必要がある。また、交配作業中に花粉を使い切った場合は、花粉を補充する必要があるが、屋外の補充作業は風によって花粉が飛散しやすいため、他系統の花粉が混入するリスクがある。そのため、簡単に花粉の充填と補充ができる花粉銃があれば、人工交配作業を効率化しつつ、他系統の花粉が混入するリスクを低減することができると思われる。そこで、花粉の充填と補充が容易にできるように、花粉の貯蔵に使用している容量25 mlや50 mlのプラスチック製遠沈管を直接取り付けられる花粉銃を市販の資材等を用いて自作した。

一般的に交配の成否には花粉の質に加えて花粉の量が重要であり、花粉が不足すると種子の収量が低下することが知られている(Webber 1995)。そのため、花粉銃は一定量以上の花粉を確実に噴出する必要がある。ここでは、この自作花粉銃で有効な交配作業が可能かどうかを確認するため、また交配作業の効率化に貢献するかどうか明らかにするため、プラスチック遠沈管を簡単に脱着できるかどうか確認し、花粉銃本体の重量、充填可能な花粉量、花粉の噴出量を従来花粉銃と比較した。また、自作した花粉銃の作成方法と資材の入手先を示した(Table 1)。

### 2. 材料と方法

#### 2.1 資材の選定

花粉銃はゴム球(バルブ付き)、チューブ、L字ガラス管、栓、注射針、花粉を入れる容器の6つの部品で構成

原稿受付：令和4年8月4日 原稿受理：令和4年10月25日

1) 森林総合研究所 林木育種センター 九州育種場

\* 森林総合研究所 林木育種センター 九州育種場 〒861-1102 熊本県合志市須屋 2320-5、E-mail: makoji@affrc.go.jp

Table 1. 花粉銃の作成に用いた資材と器具

資材・器具	メーカー	型番	規格	価格 (税込) <sup>1)</sup>	単価/ 花粉銃 1 個
ゴム球	KENZMEDICO	1098F221	バルブ外径 7 mm	715	650
シリコンチューブ	アズワン	S-6x10	内径 6 mm、外径 10 mm、10 m	5,280	16
L 字ガラス管	ケニス	1-126-0516	内径 6 mm、長さ 60 mm×60 mm、外径 7 mm	220	200
ラボランシリコン栓	アズワン	9 号	下径 25 mm、上径 30 mm、11 個入り	1,749	159
IMG シリコン・ライト栓	東京硝子器機	No.10-11	下径 28 mm、上径 35 mm、高さ 35 mm、10 個入り	3,410	341
特注注射針	翼工業株式会社	特注品	14G 外径 2.0 mm、長さ 80 mm、ロック基、先端 SB、12 本入り	7,920	660
ピオラモ遠沈管	アズワン	VIO-25B	外径 30 mm、高さ 75 mm、容量 25 ml、200 本入り	5,720	29
ガラス管カッター	アズワン	11-340		4,510	

1) 価格は筆者が 2017 年から 2021 年の間に購入・調査した価格である

される (Fig. 1)。

今回購入したゴム球のバルブの外径が 7 mm であったため (従来花粉銃と同等、Table 1、Fig. 2A)、そのサイズに合わせてシリコンチューブ (内径 6 mm、外径 10 mm、Fig. 2B) と L 字ガラス管 (内径 6 mm、外径 7 mm、Fig. 2C) の規格を選定した。また、花粉を入れる容器として 25 ml ピオラモ遠沈管 (アズワン、Fig. 2D) や 50 ml フア

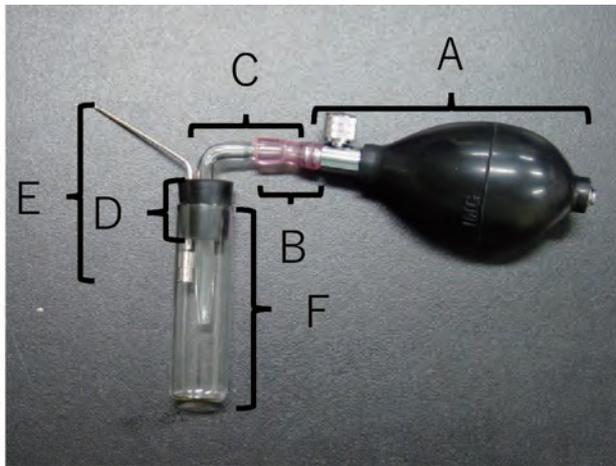


Fig. 1. 花粉銃とその構成部品

A: バルブ付きゴム球、B: シリコンチューブ、C: L 字ガラス管、D: 栓、E: 注射針、F: 花粉容器

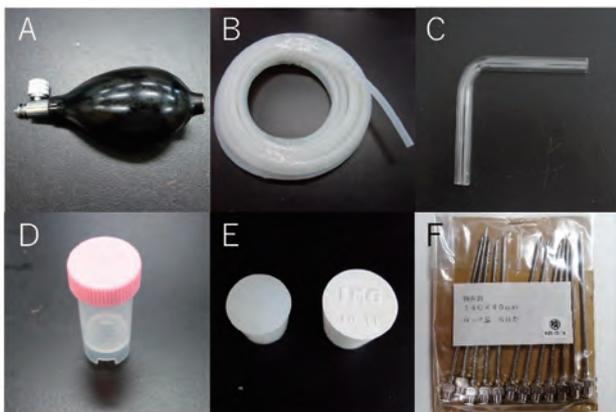


Fig. 2. 花粉銃の資材

A: バルブ付きゴム球、B: シリコンチューブ、C: L 字ガラス管、D: プラスチック製遠沈管 (25 ml)、E: 栓 (左: シリコン栓、右: シリコン・ライト栓)、F: 特注注射針

ルコンチューブ (FALCON) (どちらも外径 30 mm、内径 28 mm) 等を活用するため、それらに適合する栓として、加工しやすく比較的軽量なラボランシリコン栓 (9 号、アズワン、Fig. 2D) 及び、より軽量で柔らかいシリコン・ライト栓 (No.10-11、東京硝子器機) の 2 種類を用いた。一般的な理化学製品を扱う業者から購入可能な注射針は、針の内径が非常に小さく花粉銃に適さないため、工業用注射針を取り扱っている翼工業株式会社 (東京都荒川区) に外径 2.0 mm の注射針をオーダーメイドして購入した (Fig. 2F)。また、花粉銃の作成に用いた一般的な実験器具や工具を表にまとめた (Table 2)。

## 2.2 L 字ガラス管の加工

L 字ガラス管のゴム球側の管は、破損および花粉銃の重心の偏りを防ぐため短くした。まず、屈曲部分から

Table 2. 花粉銃の作成に用いた器具

用途	器具
ガラス管の加工	ガスバーナー ガラスカッター 軍手 ピンセット
栓の加工	電動ドライバ 針金
シリコンチューブの切断	ハサミ

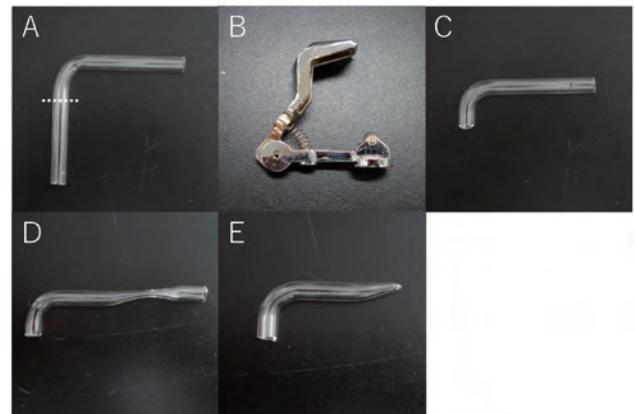


Fig. 3. ガラス管の加工

A: L 字ガラス管 (点線部で管を切断) B: ガラス管カッター、C: 一方の管を切断した状態、D: もう一方の管を加熱しながら引き伸ばした状態、E: 細くなった部分で管を切断した状態

長さ 2 cm 程度の位置 (Fig. 3A) にガラス管カッター (Fig. 3B) で傷をつけ、力を加え切断した (Fig. 3C)。取り扱い時の怪我を防ぐため切断面をガスバーナーで加熱して滑らかに加工した。

プラスチック遠沈管側の管は先端を細く加工した。これはゴム球から押し出された空気が遠沈管内に放出される際の圧力を高め、注射針先端から花粉を効率的に飛散させるためである。ガラス管の先端から 1 cm のあたりをガスバーナーで十分過熱して、柔らかくなってからガラス管の先端をピンセットでつまみ、引っ張って細く伸ばした (Fig. 3D)。伸ばした部分の直径が、元の直径の半分程度になった際に、ガスバーナーから外し、冷却した。その後、ガラスカッターを用いて細くなった部分でガラス管を切断し (Fig. 3E)、切断部を加熱して滑らかに加工した。

### 2.3 シリコン栓およびシリコン・ライト栓の加工

シリコン栓およびシリコン・ライト栓を自立式のプラスチック遠沈管に差し込んで (Fig. 4A)、直径 4 ~ 4.5 mm 程度の木工用ドリルを取り付けたハンディ電動ドライバーを用いて、中央に穴をあけた (Fig. 4B, Fig. 4C)。

### 2.4 注射針と L 字ガラス管の取り付けと仕上げ

注射針の中に針金を差し込んでから、栓の下側から注射針を差し込んだ (Fig. 5A, Fig. 5B)。これは、注射針内に栓の素材が充填されることを防ぐためである。その後、L 字ガラス管を栓の上側から屈曲部分の手前まで差し込んだ (Fig. 5C)。注射針を適当な位置で曲げ (Fig. 5D)、L 字管の反対側に長さ 2 cm 程度に切断したシリコンチューブとゴム球を取り付け、栓を 25 ml の遠沈管に取り付けた (Fig. 6)。

### 2.5 従来花粉銃との比較

自作花粉銃について、シリコン栓を用いた 5 個、シリコン・ライト栓を用いた 5 個、過去に購入した従来花粉銃 10 個をそれぞれランダムに選び比較に用いた。ここでは自作花粉銃の花粉の容器として 25 ml の遠沈管を使用した。まず、組み立てた花粉銃本体の重量を電子天秤で測定した。次に充填可能な花粉の量を調べるため、花粉充填後の花粉銃全体の重量を測定し、花粉充填前の重量との差を求めた。この時、栓の下側から付き出した注射針の基部あるいはガラス管の先端から約 1 cm 離れた位置まで、十分に乾燥して冷蔵貯蔵していたクロマツ花粉を入れた。花粉銃から噴出する花粉の量を推定するため、花粉を 3 回噴出させる度に花粉銃全体の重量を測定して、噴出前の重量との差を求め、3 で割って 1 回当たりの噴出量を算出した。この噴出量は各花粉銃について 5 回測定し、5 回の平均値をその花粉銃の噴出花粉重量とした。従来花粉銃と自作花粉銃の間で本体重量、充填可能な花粉の重量、および噴出花粉重量の中央値を比較するた

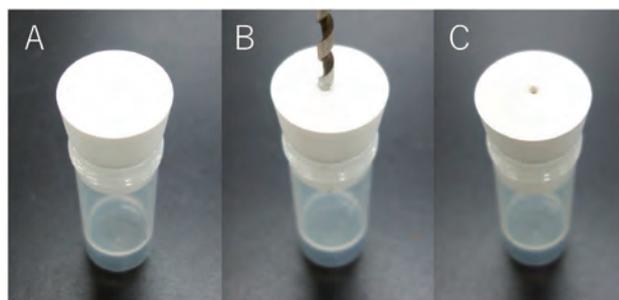


Fig. 4. 栓の加工

A: 自立式のプラスチック遠沈管に差し込んだシリコン・ライト栓、B: ドリルで栓の中央に穴を開けている状態、C: 穴のあいたシリコン・ライト栓

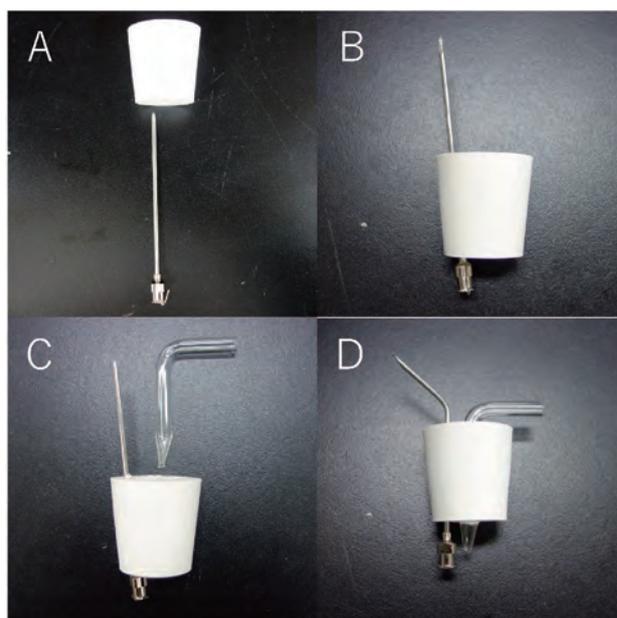


Fig. 5. 注射針と L 字ガラス管の取り付け

A: 栓の下側より針金を入れた注射針を差し込む、B: 注射針を通した状態、C: 栓の上側より L 字ガラス管を差し込む、D: L 字ガラス管を通して、注射針を曲げた状態

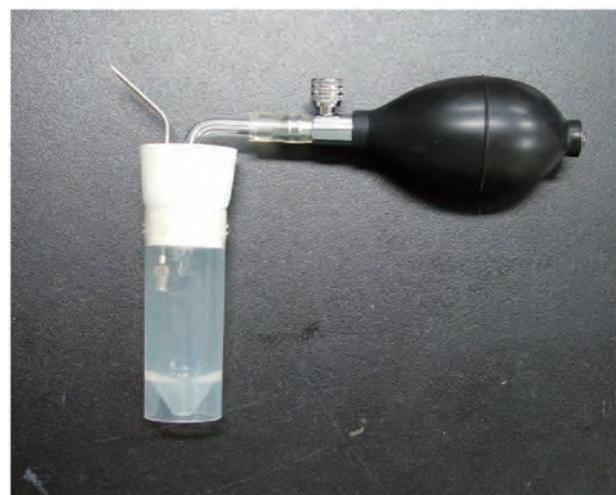


Fig. 6. シリコン・ライト栓を用いた自作花粉銃

め、クラスカル・ウォリス検定と5%の有意水準の多重比較を行った。解析はソフトウェア Statistix9 (Analytical Software, Tallahassee, FL, USA) を用いた。

### 3. 結果

自作花粉銃を組み立てたところ、シリコン栓とシリコン・ライト栓のどちらを用いた場合も、プラスチック製の遠沈管を簡単に脱着することができた。また、ゴム球の圧迫によって針先から花粉を噴出させることができ、チューブの接合部及び、シリコン栓やシリコン・ライト栓の周りからの空気の漏れはなかった。

シリコン栓とシリコン・ライト栓を用いた自作花粉銃、及び従来の花粉銃の本体の平均重量 ( $\pm$  SD) はそれぞれ 84.3 ( $\pm$  1.8) g と 77.2 ( $\pm$  2.0) g、及び 76.6 ( $\pm$  2.7) g であり、これらの中央値には有意な差があった (クラスカル・ウォリス検定、 $H = 10.75$ 、 $P$  値 = 0.005; Table 3)。多重比較の結果、シリコン栓を用いた自作花粉銃はシリコン・ライト栓の自作花粉銃と従来花粉銃に比べて中央値が有意に大きかった。

充填可能な花粉の平均重量はシリコン栓とシリコン・ライト栓の自作花粉銃、及び従来の花粉銃でそれぞれ 4.1 ( $\pm$  1.1) g と 5.0 ( $\pm$  0.2) g、及び 2.2 ( $\pm$  0.6) g であり、これらの間で中央値に有意な差があった (クラスカル・ウォリス検定、 $H = 13.99$ 、 $P$  値 < 0.001)。多重比較の結果、2つの自作花粉銃は従来花粉銃に比べて充填花粉重量が大きく、有意に多くの花粉を入れることができた。

噴出花粉重量はシリコン栓とシリコン・ライト栓の自作花粉銃、及び従来の花粉銃でそれぞれ 0.029 ( $\pm$  0.010) g と 0.057 ( $\pm$  0.009) g、及び 0.021 ( $\pm$  0.007) g であり、これらの間で中央値には有意な差があった (クラスカル・ウォリス検定、 $H = 11.25$ 、 $P$  値 = 0.004)。多重比較の結果、シリコン・ライト栓の自作花粉銃の噴出花粉重量は従来花粉銃より大きかった。

### 4. 考察

本論で作成した自作花粉銃は、一般的な 25 ml のプラスチック遠沈管を花粉の容器として使用できた。そのた

め、同じ口径の遠沈管に収集・貯蔵した花粉を、花粉銃の容器に移し替えることなく使用することが可能となり、交配作業を効率化できると考えられた。

自作花粉銃を、従来の花粉銃と比較したところ、自作花粉銃の本体重量は 0.6 ~ 7.7 g 重く、充填可能な花粉の重量は 1.9 ~ 2.8 倍、花粉の噴出量は従来の花粉銃の 1.4 ~ 2.7 倍であった。これらの結果から自作花粉銃は従来の花粉銃に比べて、本体重量が増加したものの、花粉を格納・噴出する機能は同等か向上しており、交配作業に使用できると考えられた。花粉銃に充填可能な花粉の量が 1.9 ~ 2.8 倍であったことは、一つの交配袋に用いる花粉量が一定であると仮定すれば、花粉の補充回数が少なく済むことを示唆する。また一回当たりの噴出花粉量は従来の花粉銃と比べて 1.4 ~ 2.7 倍であったことから、交配袋に花粉を注入する作業は少なくとも従来と同等以上の効率で実施できると考えられた。

自作花粉銃の花粉の噴出量が従来の花粉銃より多い傾向があった理由として、用いた針の太さの違い (自作花粉銃は外径 2.0 mm、従来花粉銃は 1.6 mm)、ガラス管の加工の具合 (花粉容器側の管が細く加工してある方が、容器内に吹き出す空気の圧力が高まると考えられる)、花粉保存容器の直径が異なるために生じた保存容器内の空間の違い等が影響した可能性が考えられる。シリコン・ライト栓はシリコン栓より多くの花粉を噴出する傾向があった。その理由は明らかになっていないが、今回の結果からは、シリコン・ライト栓の花粉銃はシリコン栓のものより軽く、噴出花粉量も多い傾向があるため、相対的に優れていると考えられた。なお、結果は示していないが、どちらの自作花粉銃も、従来の花粉銃と同様に容器に入った花粉をほとんど最後まで使いきることができた。

クロマツのように小さい苗木で利用可能な着花促進技術が十分に開発されていない樹種は、人工交配を行う場合、屋外の大きな個体に交配袋を設置して花粉銃によって交配する方法が主流である。また、スギ等では鉢植えした苗木等を用いて、交配袋や花粉銃を必要としない施設内交配も行われているが (大谷・大庭 1984)、特別な施

Table 3. 自作花粉銃と従来花粉銃の比較

花粉銃の種類	調査数	平均値 $\pm$ SD (最小値 - 最大値)						
		本体重量 (g) <sup>1</sup>	充填花粉重量 (g) <sup>1,2</sup>	噴出花粉重量 (g) <sup>1,3</sup>				
新式花粉銃	シリコン栓	5	84.3 $\pm$ 1.8 (82.1 - 86.5)	a	4.1 $\pm$ 1.1 (2.9 - 5.6)	a	0.029 $\pm$ 0.010 (0.015 - 0.043)	ab
	シリコン・ライト栓	5	77.2 $\pm$ 2.0 (75.7 - 80.6)	b	5.0 $\pm$ 0.2 (4.7 - 5.3)	a	0.057 $\pm$ 0.009 (0.041 - 0.063)	a
従来花粉銃		10	76.6 $\pm$ 2.7 (71.4 - 80.5)	b	2.2 $\pm$ 0.6 (1.3 - 3.2)	b	0.021 $\pm$ 0.007 (0.008 - 0.033)	b
$P$ 値 <sup>4</sup>			0.005		< 0.001		0.004	

- 1) 同じ列の同じ文字列は中央値が有意に異なることを示す
- 2) 花粉銃に充填可能な花粉の重量
- 3) 花粉銃のゴム球を一回圧迫した場合に噴出される花粉の重量
- 4) クラスカル・ウォリス検定の  $P$  値

設を使用せず、多数の系統間の交配を行う際には、今後も花粉銃は重要なツールであると考えられる。林木育種における人工交配作業は多数の系統の花粉を同時に扱う複雑な作業である。本論で紹介した花粉銃は交配作業の簡略化に有効であると考えられた。

#### 謝辞

森林総合研究所林木育種センター遺伝資源管理課分類同定研究室の武津英太郎室長には花粉銃の作成にご協力頂いた。森林総合研究所林木育種センター関西育種場の河合慶恵主任研究員には花粉銃の入手先に関する情報を提供頂いた。森林総合研究所林木育種センター九州育種場の堀之内佐恵子様、宮崎忍様には実験の補助をして頂いた。厚く御礼申し上げます。

#### 引用文献

相田 二三夫・藤原 茂正・返田 助光 (1955) 桑の人工交配用花粉銃の試作とその実験. 日本蚕糸学会誌, 24,

306-310.

栄花 茂 (1991) 交雑育種事業化プロジェクト実施報告—プロジェクト計画と技術開発10か年の成果—. 林木育種場研究報告, 9, 1-14.

近藤 禎二 (2012) 4. 林木育種の体系. 井出 雄二・白石 進編 “森林遺伝育種学”. 文栄堂出版株式会社, 167-188.

倉本 哲嗣・藤澤 義武 (2013) 講座：林木育種の現場のABC (5) 人工交配技術—スギ—. 森林遺伝育種, 2, 154-157.

野口 常介・川村 忠史・板鼻 直栄 (1991) アカマツにおける種内交配作業の工期と貯蔵した交配種子の苗木生産. 林木育種場研究報告, 9, 47-81.

大谷 賢二・大庭 喜八郎 (1984) 簡易なビニールフレームを用いたスギの人工交配. 日本林学会大会発表論文集, 95, 289-290.

Webber J. E. (1995) Pollen management for intensive seed orchard production. *Tree Physiology*, 15, 507-514.

## Developing a pollen gun for artificial crossing in forest tree breeding

Koji MATSUNAGA<sup>1)\*</sup>

### Abstract

A large-scale artificial crossing utilizing a large number of lines is conducted for forest tree breeding. It is essential to efficiently perform all procedures in artificial crossing including bagging, pollen collection, and injection of pollen during flowering in the target tree species. A pollen gun is an instrument utilized for artificial crossing. However, the discontinuation of production by manufacturers has made it difficult to obtain the pollen gun in recent years. Thus, a pollen gun was constructed using commercially available materials in this study. To improve work efficiency, the new pollen gun was constructed using a plastic centrifuge tube for pollen storage that could be directly attached to the gun. It was 0.6–7.7 g heavier than the conventional gun, but the amount of pollen that could be stored was 1.9–2.8 times greater; moreover, the amount of pollen ejected was 1.4–2.7 times more than the conventional gun. The results suggest that this pollen gun is effective for usage in artificial crossing. The newly developed pollen gun is expected to improve work efficiency as it is easy to fill and refill it with pollen.

**Key words :** pollen, work efficiency, *Pinus thunbergii*, storage

---

Received 4 August 2022, Accepted 25 October 2022

1) Kyushu Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center (FTBC), Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

\* Kyushu Regional Breeding Office, FTBC, FFPRI, 2320-5 Suya, Koshi, Kumamoto 861-1102, JAPAN; E-mail: makoji@affrc.go.jp

## 研究資料 (Research record)

### スギ幼齡人工林におけるオオコノハズクとサシバの確認事例

山浦 悠一<sup>1)\*</sup>、先崎 理之<sup>2)</sup>、河村 和洋<sup>3)</sup>、大谷 達也<sup>1)</sup>

#### 要旨

高知県東部の6年生のスギ新植造林地に赤外線式自動撮影カメラを設置したところ、フクロウ類の一種オオコノハズク *Otus semitorques* と昼行性猛禽類のサシバ *Butastur indicus* が撮影された。画像は4月から6月に撮影され、採食のために当地を訪問していたと考えられた。幼齡人工林は昼行性猛禽類だけでなく夜行性猛禽類の狩場にもなりうる。

キーワード：皆伐地、開放地、猛禽類

#### はじめに

森林を伐採・植栽後造成される開放的な幼齡人工林は猛禽類の狩場になることが知られ (Widén 1994, 由井ら 2001)、その多寡は猛禽類の繁殖成功度をも左右しうる (由井ら 2005)。海外では夜行性の猛禽類であるニシアメリカフクロウ *Strix occidentalis* にとっても森林地帯の伐採地や幼齡林が狩場として選好されることが示されている (Irwin et al. 2013)。今回、高知県東部のスギ幼齡人工林でフクロウ類の一種オオコノハズク *Otus semitorques* と昼行性猛禽類のサシバ *Butastur indicus* を確認したので報告したい。

#### 確認事例

調査地は高知県香美市物部町中津尾檜谷山国有林 154 林班い小班である。本調査地は 2022 年で 6 年生のスギ新植造林地で、2 ha ほどの区画がシカ防護柵によって囲まれ、隣接する 1 ha ほどの区画では植栽木に単木保護資材が装着されていた。調査地の周囲にはスギとヒノキの人工林、コナラやアカマツ、リョウブから構成される広葉樹林が分布する。防護柵内のスギは樹高が 3 m ほどになり、下層植生にはタケニグサ、ナガバモミジイチゴ、クサギなどがみられた。防護柵の外周ではタケニグサやイワヒメワラビ、シロダモ、アセビが多くみられ、裸地になっている部分もあった。

本調査地でシカ防護柵の耐用期間の調査のために合計 41 台の赤外線式自動撮影カメラ (Trel 製 10J-D) が設置された (Fig. 1)。カメラは 2020 年 10 月から 2022 年 8 月に作動させ、インターバルは 1 分間に設定された。すなわち写真が 1 枚撮影されるとセンサー内に被写体となる動物がいても 1 分間は撮影されない。この期間に、合計 4 枚の猛禽類の写真が 3 台のカメラで撮影された (Table 1)。

撮影地点の標高は 590 m から 785 m、撮影時期は 4 月から 6 月にかけての無雪期である。サシバは防護柵内の林床で撮影された (Fig. 2a)。当地に生息している可能性のあるタカ科鳥類のうち、撮影個体のように眉斑が白く、上面が褐色で、尾羽に複数の太い横斑を持つ種としてサシバとオオタカ幼鳥が挙げられる。これらのうち、撮影個体は翼の先端が尾羽の先端付近まで達していること、上雨覆から風切羽の赤褐色みが強いことからオオタカ幼鳥ではなくサシバである (森岡 1998, 真木ら 2000)。また、本個体の風切羽は全て成羽であること、眉斑が目立つことから雌成鳥である (森岡 1998)。

オオコノハズクは防護柵の倒壊を防ぐ控えロープ (Fig. 2b)、および防護柵そばの切り株に留まっている状態で撮影された (Fig. 2c, d)。当地に生息している可能性のあるフクロウ科鳥類のうち、撮影個体のように小柄で頭でっかちな体型を持つ種としてコノハズクとオオコノハズクが挙げられる。これらのうち、撮影個体は後頭部に淡色斑が認められるためコノハズクではなくオオコノハズクである (Brazil 2009)。撮影画像が小さいことから本個体の性齢は不明である。サシバとオオコノハズクが撮影された本調査地の最上部の防護柵外側は裸地になっており、周囲が見渡せる見晴らしのいい場所だった。なお自動撮影カメラでは、当地の設置期間全体でニホンリス 6 枚、ネズミ類 18 枚が主に夜間で撮影されていた (Fig. 1c)。ニホンリスは 3–7 月に、ネズミ類は年間を通して撮影されていた。

#### 議論

オオコノハズクは北海道で夏鳥、本州以南は留鳥とされる (清棲 1965, 山階 1980)。3 月末から 4 月初旬にかけて産卵し、主な食物はネズミ類で、時に鳥類や大型の昆

原稿受付：令和 4 年 11 月 24 日 原稿受理：令和 4 年 12 月 16 日

1) 森林総合研究所 四国支所

2) 北海道大学大学院 地球環境科学研究院

3) 森林総合研究所 野生動物研究領域

\* 森林総合研究所 四国支所 〒780-8077 高知県高知市朝倉西町 2-915、E-mail: yamaura@ffpri.affrc.go.jp

虫を捕食する（外山 2021）。発達した森林で繁殖するとされるが（清棲 1965, 山階 1980）、今回赤外線カメラによりスギの幼齢人工林で夜間に撮影された。本調査地の周囲には針葉樹人工林と広葉樹天然林が広がっているが、樹洞営巣性の本種は周囲の成熟した森林で営巣し、本調

Table 1. オオコノハズクとサシバの確認事例

日時	種類	確認位置 (Fig. 1b)	写真番号 (Fig. 2)
2021-04-30 16:08	サシバ	A	a
2021-06-02 03:08	オオコノハズク	B	b
2022-06-27 21:23	オオコノハズク	C	c
2022-06-27 22:28	オオコノハズク	C	d

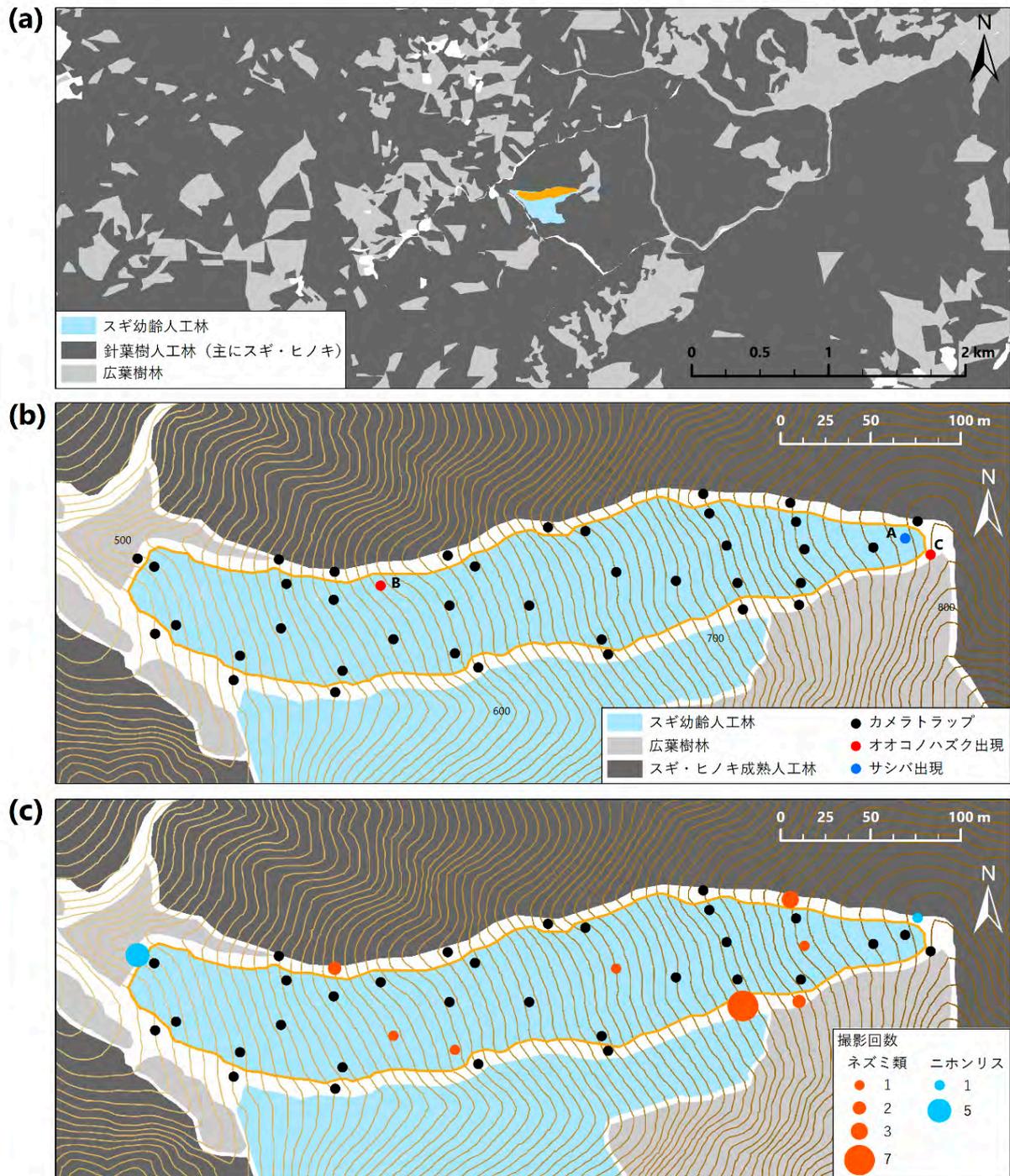


Fig. 1. 調査地と赤外線カメラの位置

- (a) 調査地（中央の橙色の区域）と周囲の林相（白抜きは非森林）。森林のデータは、国土数値情報の国有林野データと高知県の森林計画図・森林簿の電子データを加工して作成した。  
 (b) 調査地近傍の林相（橙色の実線はシカ防護柵を示す）と猛禽類の撮影位置。林相はドローンで撮影した画像（高知中部森林管理署岡ノ内森林事務所・2020年10月15日撮影）をもとに分類した。  
 (c) 小型哺乳類の撮影位置と頻度。

査地に生息する小型哺乳類を採食するために訪問していたと考えられる。ニシアメリカフクロウの例 (Irwin et al. 2013) と同様に、森林選好性の強い猛禽類のオオコノハズクにとっても、森林地帯であれば開放地が採食適地となっている可能性が示唆される。なお、Fig. 2c と d は同一の撮影位置で撮影間隔が 1 時間ほどのため同一個体の可能性が高く、Fig. 2b の撮影位置とは 250 m ほどの距離がある。北海道東部の根室市では、本種の営巣巣箱間の最短距離は 280 m とされるが (外山雅大氏 私信)、本種の行動圏の大きさや縄張り性の強さは明らかになっていない。一方、近縁種のスンダオオコノハズク *Otus lempiji* のオスの行動圏は 2-4 ha ほどであり (Najmi-Hanis et al. 2016)、国内近縁種のリュウキュウコノハズク *Otus elegans interpositus* の繁殖期の行動圏は 2-3 ha ほどである (Akatani et al. 2011)。このため、互いに 250 m 離れたこれら二つのカメラは、同一個体の行動圏内である可能性と異なる個体の行動圏にある可能性の両方が考えられ、Fig. 2b の個体が Fig. 2c と d の個体と同一かどうかの判断は難しい。

サシバはより大型の昼行性猛禽類で、繁殖のために本州以南に渡来する夏鳥である (樋口ら 2000)。森林と農地が混在する里山景観で繁殖を行ない (百瀬ら 2005)、

カエルや大型昆虫、小型の哺乳類などを採食する (Sakai et al. 2011)。今回撮影されたサシバは地面で獲物を捕獲していたと考えられる。本種の幼齡人工林での採食は東京都西部でも報告されている (山口 2017)。大阪府の観察事例 (小島 1982) を参照すると、本個体が撮影された 4 月 30 日は産卵前後と想定される。また同事例から繁殖期の雌の行動圏を 150 ha 程度、そして本個体が繁殖していたと仮定すると、本個体の巣は当地の周囲およそ 1 km の範囲内に存在していたと想定される。

また今回、猛禽類は幼齡人工林内部ではなく、成熟した森林との林縁部で撮影された。ニシアメリカフクロウも発達した森林から 100 m 未満の林縁部を 선호することが示されており、これはニシアメリカフクロウが自身の捕食リスクと餌であるネズミ類に気付かれる確率を低減させるためと指摘されている (Zabel et al. 1995)。そしてもう一つの可能性として、ネズミ類の個体数が林縁部で多いことも挙げられている (Zabel et al. 1995)。実際、本調査地でもニホンリスとネズミ類の大半は林縁部で撮影された (Fig. 1c)。このため、伐区の面積を小さくして散在させると、風倒リスクの増加が懸念されるが総林縁長は大きくなるため (Franklin and Forman 1987)、猛禽類に好適な採食地を多く提供できる可能性がある。

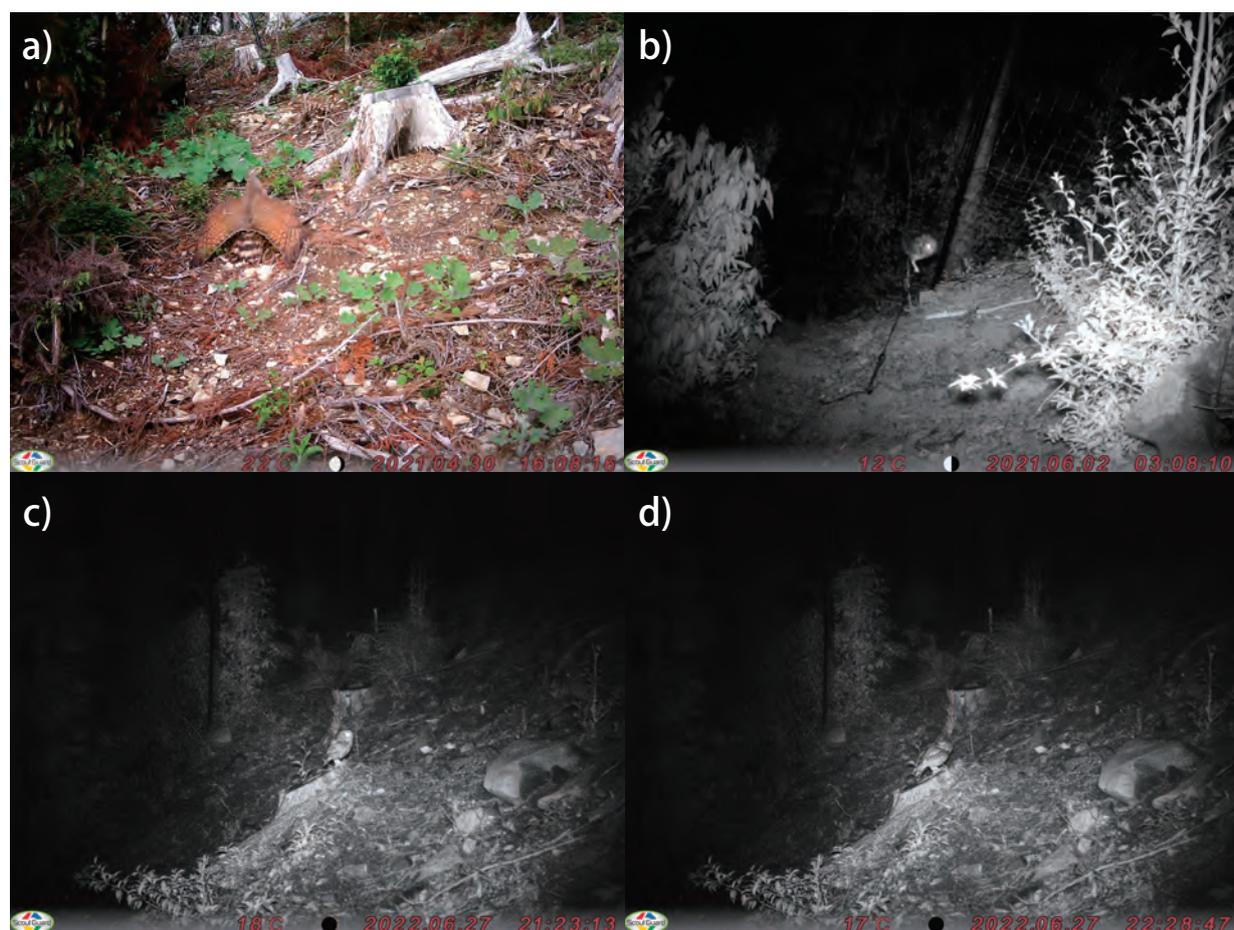


Fig. 2. オオコノハズクとサシバの撮影画像  
撮影日時と種類は Table 1 に、撮影位置は Fig. 1b に示した。

一方でニシアメリカフクロウは伐採地に樹木を残した保持林業施業地を選好することも示されており、これは保持木が止まり木の役割を果たし、同種による伐採地の利用を促進していると考えられる (Irwin et al. 2013)。皆伐地で止まり木となる孤立木が存在しない本幼齡人工林では、Fig. 2b のオオコノハズクは上方に伸びるロープに留まり、周囲あるいは下方をうかがっていた。スウェーデンでは高さ 6 m の止まり木を ha あたり 2 本の密度で実験的に設置するとヨーロッパノスリ *Buteo buteo* が幼齡人工林を頻繁に利用するようになることが示されている (Widén 1994)。国内でも人工林を伐採する際、例えば ha あたり 10 本の樹木を伐らずに残すことで、幼齡人工林全体が猛禽類の好適な採食地となることで保全に寄与できる可能性がある。

幼齡人工林はホオジロやモズ、ノビタキやビンズイなどの小型鳥類、ヨタカやオオジシギなどの中型鳥類の繁殖・営巣場所として利用されることが知られる (Yamaura et al. 2012, Toyoshima et al. 2013, 山浦ら 2022)。大型の昼行性猛禽類の採食地となることは先述のようにすでに知られており、今回サシバの採食行動も確認されたが、フクロウやオオコノハズクなどの夜行性の猛禽類にとっても好適な採食地として機能している可能性がある。幼齡人工林は食物となるネズミ類やウサギの密度が高く (山田 2019)、大型の猛禽類にとって飛翔しやすく採食効率が高いことがその理由として挙げられる (Widén 1994)。大型の鳥類や猛禽類は社会的な関心も高い (Senzaki et al. 2017, Natsukawa and Sergio 2022)。人工林の皆伐再造林は各地で盛んに行なわれるようになったが、それによって創出される幼齡人工林が猛禽類をはじめとした生物の保全に果たす役割に興味を持たれる。

### 謝辞

編集委員、査読者、外山雅大氏からは建設的な助言をいただき、原稿を大きく改善することができた。

### 引用文献

Akatani, K., Matsuo, T. and Takagi, M. (2011) Breeding ecology and habitat use of the Daito Scops Owl (*Otus elegans interpositus*) on an oceanic island. *J. Raptor Res.* 45, 315–323.

Brazil, M. (2009) *Birds of East Asia: China, Taiwan, Korea, Japan and Russia*. A&C Black.

Franklin, J. F. and Forman, R. T. T. (1987) Creating landscape patterns by forest cutting: ecological consequences and principles. *Landsc. Ecol.* 1, 5–18.

樋口 広芳・森下 英美子・東 淳樹・時田 賢一・内田 聖・恒川 篤史・武内 和彦 (2000) サシバ (*Butastur indicus*) の渡り衛星追跡および越冬地における環境選択. 我孫子市鳥の博物館調査研究報告, 8,

25–36.

Irwin, L. L., Rock, D. F. and Rock, S. C. (2013) Do northern spotted owls use harvested areas? *For. Ecol. Manage.* 310, 1029–1035.

清棲 幸保 (1965) 鳥類大図鑑 II. 増補新訂版. 講談社.

小島 幸彦 (1982) サシバ (*Butastur indicus*) のテリトリーとテリトリー行動. *鳥*, 30, 117–147.

真木 広造・大西 敏一 (2000) 日本の野鳥. 平凡社.

森岡 照明 (1998) 図鑑日本のワシタカ類. 文一総合出版.

百瀬 浩・植田 睦之・藤原 宣夫・内山 拓也・石坂 健彦・森崎 耕一・松江 正彦 (2005) サシバ (*Butastur indicus*) の営巣場所数に影響する環境要因. *ランドスケープ研究*, 68, 555–558.

Najmi-Hanis, Z., Puan, C. L., Zakaria, M. and Azhar, B. (2016) Home range and activity patterns of Sunda Scops Owl in Peninsular Malaysia. *Raffles Bull. Zool.* 64, 28–32.

Natsukawa, H. and Sergio, F. (2022) Top predators as biodiversity indicators: a meta-analysis. *Ecol. Lett.* 25, 2062–2075.

Sakai, S., Yamaguchi, N., Momose, H. and Higuchi, H. (2011) Seasonal shifts in foraging site and prey of Grey-faced Buzzards (*Butastur indicus*), breeding in Satoyama habitat of central Japan. *Ornithol. Sci.* 10, 51–60.

Senzaki, M., Yamaura, Y., Shoji, Y., Kubo, T. and Nakamura, F. (2017) Citizens promote the conservation of flagship species more than ecosystem services in wetland restoration. *Biol. Conserv.* 214, 1–5.

外山雅大 (2021) 森に暮らす小さな狩人、オオコノハズクと森づくり. *森林保護*, 354, 4–6.

Toyoshima, Y., Yamaura, Y., Mitsuda, Y., Yabuhara, Y. and Nakamura, F. (2013) Reconciling wood production with bird conservation: a regional analysis using bird distribution models and forestry scenarios in Tokachi district, northern Japan. *For. Ecol. Manage.* 307, 54–62.

Widén, P. (1994) Habitat quality for raptors: a field experiment. *J. Avian Biol.* 25, 219–223.

山田 文雄 (2019) 野ネズミ類とノウサギ類. 小池 伸介・山浦 悠一・滝 久智 (編) 森林と野生動物. 共立出版. 17–46.

山口 孝 (2017) 多摩川流域山地の伐採跡地を利用する鳥類に関する研究. 公益財団法人とうきゅう環境財団.

山階 芳麿 (1980) 復刻版 日本の鳥類と其の生態 (旧北区の部) 第二巻. 出版科学総合研究所, 東京.

Yamaura, Y., Royle, J. A., Shimada, N., Asanuma, S., Sato, T., Taki, H. and Makino, S. (2012) Biodiversity of man-made open habitats in an underused country: a class of multispecies abundance models for count data. *Biodivers. Conserv.* 21, 1365–1380.

山浦 悠一・芦原 雅人・大谷 達也・多田 英行・河

- 村 和洋 (2022) 四国におけるヨタカの営巣2例. 面河山岳博物館研報, 9, 33–38.
- 由井 正敏・工藤 琢磨・藤岡 浩・柳谷 新一 (2001) 小規模疎開地の造成がイヌワシの採餌行動頻度に与える効果. 総合政策, 3, 1–9.
- 由井 正敏・関山 房兵・根本 理・小原 徳応・田村 剛・青山 一郎・荒木田 直也 (2005) 北上高地におけるイヌワシ *Aquila chrysaetos* 個体群の繁殖成功率低下と植生変化の関係. 日鳥誌, 54, 67–78.
- Zabel, C. J., McKelvey, K., Ward, J. P. Jr. (1995) Influence of primary prey on home-range size and habitat-use patterns of northern spotted owls (*Strix occidentalis caurina*). Can. J. Zool. 73, 433–439.

## Observation of Japanese scops-owls and a grey-faced buzzard in a Japanese cedar plantation at an establishment stage

Yuichi YAMAURA<sup>1)\*</sup>, Masayuki SENZAKI<sup>2)</sup>, Kazuhiro KAWAMURA<sup>3)</sup> and Tatsuya OTANI<sup>1)</sup>

### Abstract

We installed infrared automatic cameras in a Japanese cedar plantation of six-year-old and obtained the photographs of Japanese scops-owls *Otus semitorques* and a grey-faced buzzard *Butastur indicus*. Photographs were taken during April to June and individuals seemed to visit this site for foraging. Plantations at an establishment stage are likely to serve hunting areas not only for diurnal raptors but also for nocturnal raptors.

**Key words** : clear-cut, open-area, raptor

---

Received 24 November 2022, Accepted 16 December 2022

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

2) Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University

3) Department of Wildlife Biology, FFPRI

\* Shikoku Research Center, FFPRI, 2-915 Asakuranishi, Kochi, Kochi, 780-8077 JAPAN; E-mail: yamaura@ffpri.affrc.go.jp

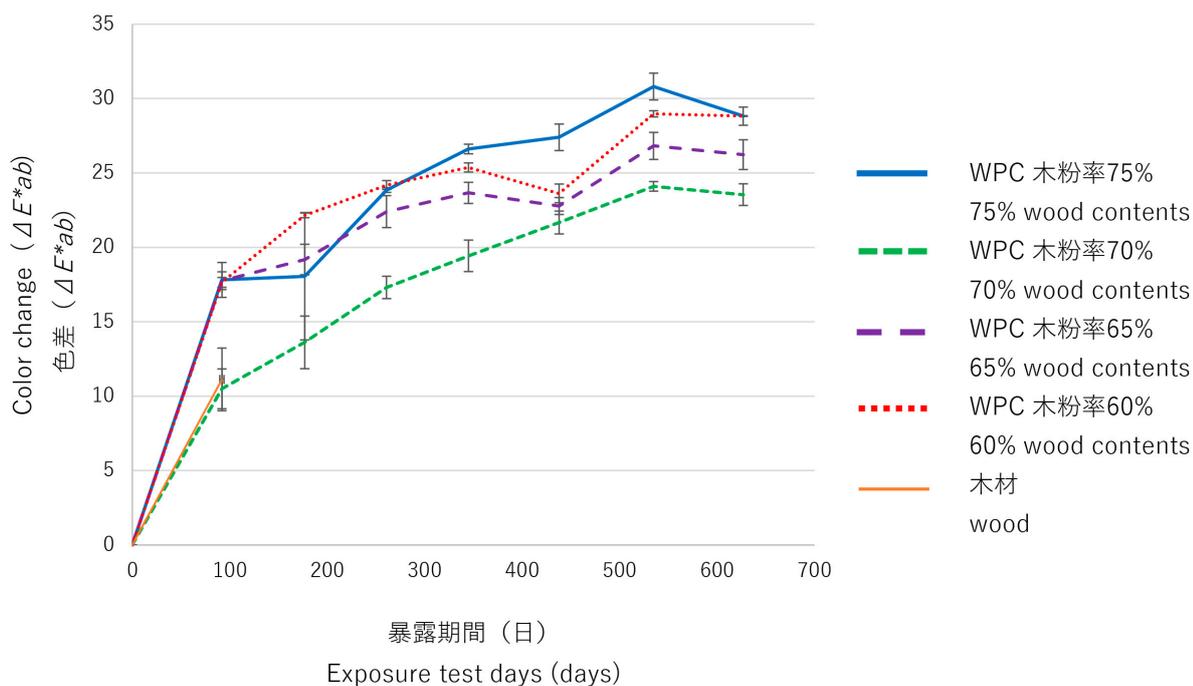
## 訂正 (Erratum)

「森林総合研究所研究報告」第21巻2号 (通巻462号) の121ページに掲載したFig. 9のグラフが誤っていました。以下の通り、訂正します。

An error appeared in Fig. 9 on p. 121 of Vol. 21-No. 2 (No. 462) of this journal. Correct as follows.

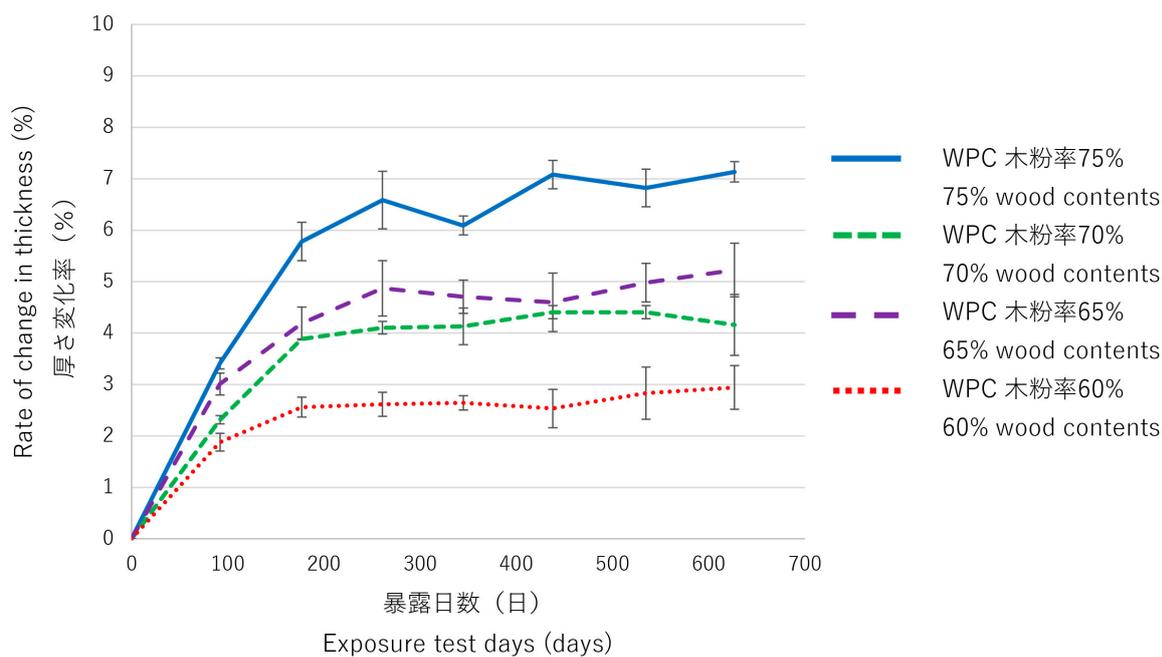
誤

Incorrect



正

Correct





# 森林総合研究所研究報告の基本方針

## 1. 審 査

投稿された論文（論文、短報、ノート、総説、研究資料）は、すべて審査を受けてその採否が決定される。論文の審査方針を次のように定める。

### 1. 審査の目的

投稿された論文（論文、短報、ノート、総説、研究資料）が、審査の基準に照らして掲載可能か否かを判断することが審査の目的である。

### 2. 審査の基準

- (1) 新規性：論文の内容が、公知、既発表、または既知のことから容易に導き得るものでないこと。
- (2) 有用性：論文の内容が、学術的に、または実用上なんらかの意味で価値があること。
- (3) 信頼性：論旨が通っており、結論等を信頼するに十分な根拠が示されていること。

さらに、論文はその内容が読者に十分理解できるように簡潔かつ明瞭に記述され、その内容に誤りないことが必要で投稿規程及び執筆要領に規定されたとおりに論文が構成され、記述されていなければならない。

### 3. 査読者

投稿された論文の査読者2名（ノート及び研究資料の場合1名）は、担当編集委員が選定し、森林総合研究所研究報告編集委員会（以下、「委員会」という）において決定する。査読者の氏名は公表しない。著者との連絡はすべて委員会が行い、査読者は著者と直接連絡しないこととする。

### 4. 査読の結果

論文等は、上記の各項の基準に照らして総合的に審査され、次のいずれかに判定される。

- (1) このまま掲載可。
- (2) 指摘の点を検討・修正の上、編集委員の了承をもって掲載可。
- (3) 指摘の点を検討・修正の上、再審査の必要あり。
- (4) 却下した方がよい（掲載するほどの内容を含まない場合及び掲載すべきでない場合）。
- (5) 却下した方がよい（構成や内容を大幅修正の上、新規投稿可）。
- (6) その他。

(1) から (5) のいずれかに判定し難い時は、(6) と判定されるが、その場合は担当編集委員によって、その理由が具体的に示される。

(2)、(3) と判定された論文等の場合は、掲載条件が具体的に示されるので、指摘に沿って原稿を修正する。(2) の判定の場合は、重要な内容の訂正を掲載条件としないことを原則とする。全査読者が (1) または (2) と判定すれば、査読は終了し、掲載可とする。全査読者が (4) または (5) と判定した場合は却下となる。

査読者2人による審査で1人が (4) または (5) と判定し、担当編集委員が必要と認めた場合は別の査読者によってさらに査読を行い、その査読者も (4) または (5) と判定すれば却下となる。(6) については、その理由により委員会の討議を経て、編集委員長が著者及び査読者と協議して対応する。

(2023年3月24日)

## 2. 投稿

### 1. 投稿資格

投稿者は原則として国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所、森林総合研究所林木育種センター、森林総合研究所森林バイオ研究センター（以下「森林総合研究所等」という。）の在職職員とする。その他、元職員、依頼研究員及び共同研究者等が、森林総合研究所等あるいは森林総合研究所等と関係のある場所において研究した成果を含む内容も投稿できる。

### 2. 原稿の種類

原稿の種類は論文、総説、短報、ノート及び研究資料とする。論文は、原著論文として他の出版物に投稿または掲載されていないものに限る。総説は特定の課題に関する研究を広くかつ普遍的に総括・説明したものである。短報は、速報性の高いものを刷り上がり4頁以内にまとめる。ノートは、価値のある新事実または結論を含むものを刷り上がり2頁以内にまとめる。研究資料は観測データ、調査資料等とする。

### 3. 査読候補者

投稿者は査読者候補者（suggested reviewer）を4名まで推薦できる。推薦する場合、査読候補者の氏名、所属、E-mail アドレス、推薦理由を明記した別紙（フォーマットは問わない）を提出すること。

なお、査読者の最終的な選定は編集委員が決定するため、必ずしも査読候補者が審査に加わるとは限らない。

### 4. 原稿の提出

投稿者は、別に定める執筆要領に基づき作成した原稿を「研究報告原稿提出書」とともに広報普及科編集刊行係に提出する。なお、共著原稿の提出にあたっては、共著者全員の同意を得ることとする。提出する原稿は電子ファイルとする。

原稿の提出先 〒 305-8687 つくば市松の里1  
国立研究開発法人 森林研究・整備機構  
森林総合研究所 広報普及科  
編集刊行係  
Tel：029-829-8373 Fax：029-873-0844  
E-mail：kanko@ffpri.affrc.go.jp

### 5. 原稿の修正

修正原稿が2ヶ月以内に、短報及びノートでは3週間以内に再提出されない場合には受付を取り消す。なお、特別な理由により期限内に提出できない場合は、期間延長を編集委員長に文書で申し入れする。

### 6. 原稿の却下

再審査を終えても受理されない論文等については委員会により却下されることがある。

### 7. 使用言語

使用言語は日本語または英語とする。

### 8. 著作権

報告の著作権は国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所に帰属する。掲載論文の全体または一部を他の著作物に利用する場合、事前に編集刊行係に申し出て、編集委員長の許可を得るものとする。

(2021年6月17日)

### 3. 執筆要領

#### 1. 原稿の書式

原稿は Word ®形式の電子ファイルとし、次の書式に従う。

- 1) 和文原稿は、A 4 判白紙に、天地左右各 30mm 程度の余白を残し、原則として 10.5 ポイントの文字を使用し、40 字詰め 20 行で横書きで印字する。語や句を区切る際には、「、」「。」を使用。
- 2) 英文原稿は、A 4 判白紙に、天地左右各 30mm 程度の余白を残し、原則として 10.5 ポイントの文字を使用し、25 行で印字する。

#### 2. 原稿の構成

原稿の構成は次の順による。

##### 1) 和文原稿

- (1) 表紙<原稿の種類・表題・著者名・所属・英文表題・英文著者名・英名所属・和文ランニングタイトル(全角 25 文字以内)>
- (2) 英文要旨 (Abstract) (ノートについては不要)
- (3) 英語キーワード (ノートについては不要)
- (4) 和文要旨 (ノートについては不要)
- (5) 日本語キーワード
- (6) 本文
- (7) 引用文献
- (8) 図・表・写真の表題と説明・注釈 (和文、英文または和英併記)
- (9) 補足電子資料 (Supplementary data) の表題と説明・注釈
- (10) 図・表・写真 (別添)

##### 2) 英文原稿

- (1) 表紙<原稿の種類・表題・著者名・所属・和文表題・和文著者名・和名所属・英文ランニングタイトル(空白含め半角 50 文字以内)>
- (2) 英文要旨 (Abstract) (ノートについては不要)
- (3) 英語キーワード
- (4) 和文要旨 (ノートについては不要)
- (5) 日本語キーワード (ノートについては不要)
- (6) 本文
- (7) 引用文献
- (8) 図・表・写真の表題と説明・注釈
- (9) 補足電子資料 (Supplementary data) の表題と説明・注釈
- (10) 図・表・写真 (別添)

#### 3. 表題

英文表題 (サブタイトルを含む) の記載は、先頭の単語の頭文字を大文字とし、その他の単語は小文字とする。

#### 4. 著者名

英文の場合、著者名の記載は執筆者が通常使用しているローマ字で、名 (頭文字を大文字、以後は小文字)、姓 (大文字) を記載する (例: Taro SHINRIN)。共著者のあるときは、"、" で区切り、最後の共著者の前に and を入れる。

#### 5. 所属と連絡先

著者の所属は、論文が受付された時点の所属とする。退職者については退職時の所属 (和文にのみ元をつける) とする。なお、著者の所属をその対応が容易にわかるように著者の右肩に 1)、2) の番号を付し、脚注に森林総合研究所、研究領域・支所・試験地名等を記載する。また、著者のうち 1 名を連絡先 (corresponding author) とし右肩に所属の番号等に続いて \* (アスタリスク) を付し、脚注に連絡先 (現在の所属、住所、E-mail アドレス (推奨)) を入れる。所属が無い場合は、個人の連絡先 (住所または E-mail アドレス等) とする。

#### 6. 要旨

要旨は、論文の目的、方法、結果などを和文では 600 字 (短報は 300 字)、英文では 300 語 (短報は 150 語) 以内で簡潔に記述する。その際、原則として改行は避け、できるだけ略語、慣用語を用いない。また、原則として表、図、式などを本文中の番号で引用しない。

#### 7. キーワード

原稿の内容を的確に表すキーワード (論文、短報、総説及び研究資料は 7 語以内、ノートは 5 語以内) を記載する。キーワードの選定は検索に用いられることを考慮し (調査年等は不適)、英語と日本語を対応させ、記載の順序を揃える。英語は、固有名詞の最初の文字を除き、すべて小文字で書く。

#### 8. 本文/見出し

本文の区分けの表題は中央に 1 行取りで書く。

表題をさらに細分化する場合は、左詰めにしてゴシック指定にする。

見出しで必要な場合は、ポイントシステムを採用してもよい。

英文の見出しは、英文表題の記載と同様に最初の単語の頭文字を大文字表記とする。

#### 9. 英文字記号および英数字

本文中、引用文献中ともに、括弧、カンマ (,)、アポストロフィ (')、ピリオド (.)、セミコロン (;) 等の英文記号を使う場合には、すべて半角で記述する。ローマ数字も半角アルファベットの組み合わせとして記述

する。括弧の前後や記号の後には原則として半角スペースを入れる。

具体的には下記の例を参照( \_ は半角スペースを表す)。

・・・であると考えられる\_(堀・河合\_1965a,b, Dropkin et al.\_1979)。

・・・堀ら\_(1965)\_の報告がある。

・・・ウスバシロチョウ\_(別名ウスバアゲハ)\_は、・・・

#### 引用文献

Ahmad, Q. A. (1952) Fungi of East Bengal. \_ Pakist. J. For., 2, 91-115.

## 10. 引用文献

### 1) 本文中の引用文献の記載は下記の例に従う。

( \_ は半角スペースを表す)

本文末につける場合

(Ahmad\_1952) (堀\_1965) (Ahmad\_1952, 堀\_1965)

文中での説明の場合

Ahmad\_(1952)\_は～ 近年、堀\_(1965)\_は～

著者が複数の場合等

・連名の場合:(Ahmad\_and\_Baker\_1952) (堀・川合\_1965a,b) 中点は全角

・著者が3名以上の場合:第1著者名の後に「et\_al.」または「ら」を付す。

(Dropkin\_et\_al.\_1979) (Dropkinら\_1979)

・複数の文献の場合:年代順に記載し、同年の文献については、著者名のアルファベット順に記載し、単名を先行とする。また、同名の著者は年代順にまとめて記載する。同名で同年の文献については、年の後に a, b をつけて記載する。

(田中\_1984,1989, 石塚\_1988,1990a,b)

・訳本の場合:原著者名(訳本の表記に従い、原著者のファミリーネーム)と原著発行年を引用する。(ブレーヌ\_1989)

### 2) 引用文献リストは著者名のアルファベット順に記載し、単名を先行とする。同名の著者は年代順に記載する。詳細は下記の例に従う。( \_ は半角スペースを表す)

#### ①雑誌を引用する場合

例 Ahmad, Q. A. (1952) Fungi of East Bengal. \_ Pakist. J. For., 2, 91-115.

Baker, C. F. (1914a) A review of some Philippine plant diseases. \_ Philip. Agr. & For., 3, 157-164.

Baker, C. F. (1914b) First supplement to the list of the lower fungi of the Philippine Islands. \_ Leaflet. Philip. Bot., 7 (Art113), 2417-2542.

Dropkin, V. H. and Foudin, A. S. (1979) Report of the occurrence of *Bursaphelenchus lignicolus* induced pine wilt disease in Missouri. \_ Plant Dis. \_

Rep., 63, 904-905.

Reunanen, M., Ekman, R. and Heinonen, M. (1989) Analysis of Finnish pine tar from the wreck of Frigate St. Nikolai. \_ Holzforschung, 43, 33-39.

・誌名の略記法は慣例にならう。

・氏名が和文体の場合は、姓と名の間に全角スペースを入れる。(■は全角スペースを、\_ は半角スペースを表す)

#### 例

堀■高夫\_(1965)\_路網計画のための図上地形判定について. \_ 日林誌, 47, 168-170.

森■章\_(2001)\_イチイガシの種子生産における同化産物投資. \_ 日林誌, 83, 93-100.

田島■正啓・宮島■寛・宮崎■安貞\_(1977)\_ヒノキパーオキシターゼ・アイソザイムの遺伝子分析. \_ 日林誌, 59, 173-177.

上野■洋二郎\_(2000)\_森林計画における森林諸機能の最適配分. \_ 日林誌, 82, 360-363.

・巻の定めがなく、号のみが定められた雑誌の場合、以下のように表記する。

#### 例

猪内■正雄\_(2001)\_森林作業の機械化が森林環境にどんな影響を及ぼすのか. \_ 森林科学, 32, 25-33.

岡田■恵子\_(2013)\_国民の意識の変化の的確な把握に向けて:内閣府の世論調査から. \_ 社会と調査, 10, 87-96.

#### ②書籍を引用する場合

例(本一冊を引用する場合)

三浦■伊八郎・西田■屹二\_(1948)\_木材化学. \_ 丸善, 690pp.

(複数の著者によって書かれた編集本の特定部分を引用する場合)

沼田■真\_(1967)\_植物的環境の解析と評価. \_ 森下■正明・吉良■竜夫編. “自然:生態学的研究”. \_ 中央公論社, 163-187.

(叢書の特定部分を引用する場合)

川合■眞一・田中■早苗\_(1963)\_“実用化学講座 17 卷有機化合物の反応(下)”, 第2版. \_ 日本化学会編, 丸善, 210-212.

(欧文の単行書のタイトルはイタリックとする)

Ishii, M. (1996b) Decline and conservation of butterflies in Japan. In Ae, S. A., Hirowatari, T., Ishii, M. and Brower, L. P. (eds.) “Decline and Conservation of Butterflies in Japan III”. \_ The Lepidopterological Society of Japan, Osaka, 157-167.

(訳本を引用する場合は、原著者名(訳本の表記に従い、姓・名の順)や原著発行年等を引用する)

ブレーヌ■ジャン\_(1989)\_ (永塚鎮男訳, 2011)\_人は土をどうとらえてきたか: 土壌学の歴史とペドロジスト群像. \_ 農山漁村文化協会, 415pp.

- ③ Web ページの引用は、適当な文献資料が利用できないか、または電子テキスト利用の利便性が特に高い場合に限る。引用する場合には、文献の発行年にあたる部分は、当該 Web ページの公表年（更新年）とするが、公表年が無い場合は筆者が当該ページを確認した年次とし、URL と参照日を記載する。ただし、官公庁等の冊子体資料がそのまま PDF ファイル等の形態で公表されている場合には、冊子体の発行年、発行所、ページ数等を引用し、URL のみを併記する。一連の資料・文書が別ファイル化されている場合には、トップページのみ典拠すればよい。

例

Finger Lakes Resource Conservation & Development Council (2007) “Forest land best management practices in the Finger Lakes Region of New York State”, <http://www.dnr.cornell.edu/ext/bmp/index.html>, (accessed 2007-11-30).

環境省 (2002) “平成 13 年度オゾン層等の監視結果に関する年次報告書”, 環境省, 122 pp.

<http://www.env.go.jp/earth/report/h14-03/index.html>.

環境省 (2004) “農林水産省と環境省の連携による田んぼの生きもの調査”,

<http://www.env.go.jp/nature/satoyama/tanbo.html>, (参照 2008-01-24).

- 3) 私信扱いの情報は、下記の例に従い、本文中に記載する。( \_ は半角スペースを表す)  
なお、所属については、省略することができる。  
(氏名 \_ 所属 \_ 私信)  
(Name, \_Affiliation, \_pers, \_comm.)

## 11. 英文校閲

英文原稿及び和文原稿の英文摘要は原稿提出前に必ず英文校閲を受ける。

## 12. 図・表・写真

- 1) 図・写真はなるべく高解像度の Jpeg、表は Excel® 形式とする。表については、表題は表の上部に、説明・注釈は表の下部に記載し、図・写真については、表題及び説明・注釈は本文末にまとめて記載する（印刷では図・写真の下部に記載される）。和文原稿の場合は、表題、説明・注釈及び図表は和文、英文または和英併記とする。また、本文中では「Fig.」「Table」「Photo」を使用。
- 2) 印刷時の図・写真の大きさは、段組幅 (82 mm) か頁幅 (170 mm) のどちらかを明示する。なお、図・表・写真の挿入箇所を本文に朱書きで明示する。
- 3) 原則として、表には縦の罫線を用いない。

## 13. 補足電子資料 (Supplementary data)

紙面の都合上掲載できない図表は、補足電子資料として引用文献の後に付記することができ、本文中にも引用できる。印刷版には引用文献の後に図表の表題と公開 URL を、電子版には全てを公開する（例；Fig.\_S1, Table.\_S1）。

補足電子資料の掲載は、論文、短報、ノート、総説、研究資料の全てが対象となる。

## 14. 付録 (Appendix)

本文の内容に補足して掲載したい図表を、付録として誌面の引用文献の後に掲載することができ、本文中にも引用できる（例；Appendix\_Fig.1, Appendix\_Table\_1）

また付録の掲載対象は、論文、総説、研究資料とする。

(2021 年 6 月 11 日)



担当者様

To the person concerned

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所  
Forestry and Forest Products Research Institute

「森林総合研究所研究報告」を送付させていただきますのでお受け取り下さい。  
送付先などが変わりましたら本研究所編集刊行係（kanko@ffpri.affrc.go.jp）にご連絡ください。  
また、貴刊行物と交換願えれば幸いです。

Please, find an enclosed Bulletin of the Forestry and Forest Products Research Institute.

Let us know when the name of your institution and mailing address are changed.

We greatly appreciate receiving any relevant publications in exchange.

Officer in charge at publication section  
Forestry and Forest Products Research Institute  
1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN  
Tel : + 81-29-829-8373 Fax : + 81-29-873-0844  
E-mail : kanko@ffpri.affrc.go.jp

---

2023年3月24日発行 森林総合研究所研究報告 第22巻1号（通巻465号）

編 集 人 森林総合研究所研究報告編集委員会

発 行 人 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所  
〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地  
電話：029-829-8373 Fax：029-873-0844

印 刷 所 株式会社デジタル印刷  
〒300-3262 茨城県つくば市蓮沼1322-1  
電話：029-877-1331 Fax：029-864-6602

©2023 Forestry and Forest Products Research Institute

---

本誌から転載・複写する場合は、森林総合研究所の許可を得てください。

# 森林総合研究所研究報告

Vol. 22 No. 1 (No. 465)



## ■ 論文

▽岐阜県郡上市における高齢スギ人工林のサイズ分布特性

宮本 和樹、荒木 真岳、山川 博美、中尾 勝洋、粟屋 善雄、渡邊 仁志、久田 善純

Size distribution characteristics of old-growth Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) plantations in Gujo city, Gifu Prefecture, Japan

Kazuki MIYAMOTO, Masatake G. ARAKI, Hiromi YAMAGAWA, Katsuhiro NAKAO, Yoshio AWAYA, Hitoshi WATANABE and Yoshizumi HISADA

## ■ ノート

▽バカマツタケ菌糸体から厚壁孢子形成能を維持した菌株を選抜する半流動培地 (英文)

村田 仁、中村 慎崇、太田 明、市田 裕之

A semisolid plate method to isolate mycelia maintaining chlamyospore formation in *Tricholoma bakamatsutake*

Hitoshi MURATA, Noritaka NAKAMURA, Akira OHTA and Hiroyuki ICHIDA

## ■ 研究資料

▽シカによる剥皮食害を受けたエゴノキ (*Styrax japonicus*) の樹皮と木部の顕微鏡観察

藤井 智之

Anatomy of bark and xylem of Egonoki (*Styrax japonicus*) suffering from bark-stripping by sika deer  
Tomoyuki FUJII

▽林木育種における人工交配に使用する花粉銃の作成

松永 孝治

Developing a pollen gun for artificial crossing in forest tree breeding

Koji MATSUNAGA

▽スギ幼齢人工林におけるオオコノハズクとサシバの確認事例

山浦 悠一、先崎 理之、河村 和洋、大谷 達也

Observation of Japanese scops-owls and a grey-faced buzzard in a Japanese cedar plantation at an establishment stage

Yuichi YAMAURA, Masayuki SENZAKI, Kazuhiro KAWAMURA and Tatsuya OTANI

