

ISSN1881-9273

# 関東森林研究

第75巻

Kanto Journal of Forest Research Vol. 75

関東森林学会

2024年3月

# 関東森林研究 第75巻

## 目次

### 論文

博物館のきのこ展示から森林とのつながりを学ぶことはできるのか？ 杉浦克明・三浦万由子・戸口愛里・松倉君子	1
森林環境教育にみる博物館における教育普及活動の特徴 三浦万由子・杉浦克明	5
図鑑作成にみる市民の生物への興味と関心 ～里山保全ボランティア養成講座の参加者を対象として～ 園原和夏・杉浦克明	9
スギ林及びヒノキ林における強度間伐後の下層植生の変化 飯田玲奈	13
南関東・東海地方スギ人工林林分密度管理図の検証と改訂の試み 細田和男・西園朋広・北原文章・笹川裕史・古田朝子	17
石垣島における早生樹2樹種の若齢木に対する虫害等の被害状況について 竹中浩一	21
福島県南相馬市のヒノキ放置林における間伐の実施とその後の植生変化（英文） 上原 巖	25
間伐から40年を経た高齢ヒノキ人工林の林分構造と多様性 五十嵐哲也	29
秋施肥がスギコンテナ苗の耐凍性に及ぼす影響 飛田博順・原山尚徳・上村 章・香山雅純・齋藤隆実・矢崎健一・奥田史郎	33
獣害防止柵撤去時における支柱等の簡易な引き抜き方法の提案 松山元昭	37
コンテナ苗生産におけるマルチング資材としてのスギ・ヒノキ球果殻の雑草抑制効果 阿部森也	41
短時間の高温ストレスによるスギ実生コンテナ苗の生理障害 大平峰子・松下通也	45

<b>亜熱帯林樹木の葉の形質と耐塩性</b>	
田中憲蔵・河合清定・飯田真一・清水貴範・漢那賢作・伊藤俊輔・壁谷直記・清水 晃	49
<b>積雪が有機物の分解速度と分解者微生物に与える影響</b>	
上野美桜・上村真由子・韓 慶民・飯尾淳弘	53
<b>災害伝承の有効性と防災・減災への活用に関する一考察</b>	
本田尚正・加藤晴奈	57
<b>海岸防災林内陸部に異なる条件で植栽した6種の広葉樹の生存率と樹高成長</b>	
小林真生子・小森谷あかね・宇川裕一	61
<b>ブナが優占する冷温帯落葉広葉樹林における夏季の土壌水分の減少が熱フラックスに与える影響</b>	
生田海斗・小坂 泉・定元太智・畑岸萌香・白井琴乃・瀧澤英紀・阿部和時	65
<b>冷温帯および暖温帯に植栽されたブナのカス交換と葉の特徴</b>	
畑岸萌香・小坂 泉・白井琴乃・松倉君子・太田祐子・瀧澤英紀・阿部和時	69
<b>日本全国における到達路網費を考慮した未利用材利用可能量推計</b>	
有賀一広・武田愛子・藤井絢弓・松岡佑典・白澤紘明・鈴木保志	73
<b>コンテナ苗植栽の作業効率と作業姿勢の評価</b>	
原田慎也・亀山翔平・矢部和弘	77
<b>林業作業における作業日報様式の分析</b>	
鈴木裕也・亀山翔平・矢部和弘	81
<b>林地残材の積み込み作業におけるモデル化と採算性の検討</b>	
黒田浩太郎・金 鉉倍・吉岡拓如	85
<b>ダブルグリッド飛行での UAV-SfM による森林情報の計測精度および作業効率の検証</b>	
亀山翔平	89
<b>地上レーザ計測により取得した DEM を用いた林内路網計画</b>	
石井 航・亀山翔平・矢部和弘	93
<b>ハチクの酵素糖化特性</b>	
瀬山智子・坂本奈々・浅利匡哉	97

<b>速 報</b>
------------

<b>映像制作における「美しいもり」の構成要素と「もりづくり」への参加 —東京農業大学学生へのアンケート調査を事例として—</b>	
寺田美紅・小森谷孝志・佐藤孝吉	101

大学の分収林経営に関する一考察 —東京農業大学中木山分収林を事例にして— 佐藤孝吉	103
茨城県におけるスギ特定苗木の生育特性の解明及び低密度植栽による造林コスト縮減の検証 前川直人・鈴木孝典	105
異なる時期のチャバネアオカメムシの加害がスギ種子の発芽率低下に与える影響 室 紀行	107
ミニチュア採種園における着花特性に基づく少花粉スギ系統の分類 相馬航輔・阿部森也	109
斜面安定解析における樹木根系効果導入の検討 岡田康彦・蔡 飛	111
微細藻類を用いた法面保護工の晩秋施工 矢部和弘・富坂峰人・尾関哲史・城野裕介・梁 有希・足立幸大・江口文陽	113
フタマタナガマドキノコバエにおける温度と発育との関係 北島 博	115
林齢の異なるコナラにおけるカシノナガキクイムシの発生量と粘着資材により捕獲した生物相 松本 薫・室 紀行	117
漆滲出量に優れた個体のスクリーニングに適した形質の検討 関根直樹・小林久泰・神長正則・細田浩司	119
熱帯島嶼地域におけるきのこ原木を用いた傾斜地の土壌流出抑制の可能性 木村健一郎・安西俊彦・松田大志・竹中浩一	121
シイタケ原木栽培における樹種による放射性セシウムの移行係数の違い 岩澤勝巳・小森谷あかね・宇川裕一	123
マツタケ菌根苗作出に有用であった接種資材の汎用性 小林久泰・倉持眞寿美	125
エノキタケのスギオガ粉菌床栽培におけるコーンコブミール主体培地廃菌床の再利用 武田綾子	127

# Kanto Journal of Forest Research Vol.75

## CONTENTS

<b>Article</b>
----------------

<b>Is it possible to learn about the connection to forests from museum mushroom exhibits?</b> Katsuaki SUGIURA, Mayuko MIURA, Airi TOGUCHI, Kimiyo MATSUKURA.....	1
<b>Characteristics of educational activities in museums for forest and environmental education</b> Mayuko MIURA, Katsuaki SUGIURA.....	5
<b>Citizens' interest in living things as seen in the creation of pictorial books: For participants in the satoyama conservation volunteer training course</b> Waka SONOHARA, Katsuaki SUGIURA.....	9
<b>Changes in understory vegetation after intensive thinning in Japanese cedar and cypress stands</b> Reina IIDA.....	13
<b>Verification and revising of the Sugi stand density control diagram in Minami-Kanto and Tokai region</b> Kazuo HOSODA, Tomohiro NISHIZONO, Fumiaki KITAHARA, Hiroshi SASAKAWA, Tomoko FURUTA.....	17
<b>Damage to young trees of two fast-growing tree species due to pest attack on Ishigaki Island</b> Koichi TAKENAKA.....	21
<b>Thinning and subsequent vegetation changes in abandoned cypress forests in Minamisoma City, Fukushima Prefecture</b> Iwao UEHARA.....	25
<b>Forest structure and diversity of an old-growth Hinoki cypress plantation forest 40 years after thinning</b> Tetsuya IGARASHI.....	29
<b>Effect of fall fertilization on cold tolerance and growth of <i>Cryptomeria japonica</i> container seedlings in the following year</b> Hiroyuki TOBITA, Hisanori HARAYAMA, Akira UEMURA, Masazumi KAYAMA, Takami SAITO, Kenichi YAZAKI, Shiro OKUDA.....	33

<b>Proposal for an easy method for pulling out posts etc. when removing the animal damage prevention fence</b>	
Motoaki MATSUYAMA	37
<b>Weed suppression effect of <i>Cryptomeria japonica</i> and <i>Chamaecyparis obtusa</i> cone shell as mulching material for container seedlings</b>	
Shinya ABE	41
<b>Physiological disorders of containerized <i>Cryptomeria japonica</i> seedlings under short-term high temperature stress</b>	
Mineko OHIRA, Michinari MATSUSHITA	45
<b>Leaf traits and salt-tolerance of subtropical forest trees</b>	
Tanaka KENZO, Kiyosada KAWAI, Shin'ichi IIDA, Takanori SHIMIZU, Kensaku KANNA, Shunsuke ITO, Naoki KABEYA, Akira SHIMIZU	49
<b>The effect of snow cover on organic matter decomposition rate and decomposer microbes in a cool temperate forest in Japan</b>	
Mio UENO, Mayuko JOMURA, Qingmin HAN, Atsuhiko IIO	53
<b>A study on effectiveness of disaster tradition and its utilization to disaster prevention and mitigation</b>	
Naomasa HONDA, Haruna KATO	57
<b>Survival rate and height growth of 6 broadleaved trees in different conditions in inland coastal barrier forest</b>	
Makiko KOBAYASHI, Akane KOMORIYA, Yuichi UGAWA	61
<b>Effects of summer soil moisture reduction on heat fluxes in a cool-temperate <i>Fagus crenata</i>-dominated deciduous broadleaf forest</b>	
Kaito IKUTA, Izumi KOSAKA, Taichizumi SADAMOTO, Moeka HATAGISHI, Kotono SHIRAI, Hideki TAKIZAWA, Kazutoki ABE	65
<b>Gas exchange and leaf characteristics of <i>Fagus crenata</i> planted in cool- and warm-temperate zones in Japan</b>	
Moeka HATAGISHI, Izumi KOSAKA, Kotono SHIRAI, Kimiyo MATSUKURA, Yuko OTA, Hideki TAKIZAWA, Kazutoki ABE	69
<b>Estimating the availability of unused woody materials considering access road costs in Japan</b>	
Kazuhiro ARUGA, Aiko TAKEDA, Ayami FUJII, Yusuke MATSUOKA, Hiroaki SHIRASAWA, Yasushi SUZUKI	73

<b>Evaluation of work efficiency and work posture of containerized seedlings planting</b>	
Shinya HARADA, Shohei KAMEYAMA, Kazuhiro YABE·····	77
<b>Analysis of daily work report forms in forestry operations</b>	
Hiroya SUZUKI, Shohei KAMEYAMA, Kazuhiro YABE·····	81
<b>Modelling and profitability for the loading of logging residues</b>	
Kotaro KURODA, Hyun-Bae KIM, Takuyuki YOSHIOKA·····	85
<b>Verification of measurement accuracy on forest information and work efficiency in UAV-SfM by double grid flight</b>	
Shohei KAMEYAMA·····	89
<b>Planning a forest road network using a digital elevation model obtained by terrestrial laser scanning</b>	
Wataru ISHII, Shohei KAMEYAMA, Kazuhiro YABE·····	93
<b>Enzymatic saccharification properties of <i>Phyllostachys nigra</i></b>	
Tomoko SEYAMA, Nana SAKAMOTO, Masaya ASARI·····	97
<b>Letter</b>	
<b>Components of "Beautiful Forests" in Video Production and Participation in "Forest Management": A Case of Students at Tokyo University of Agriculture</b>	
Miku TERADA, Takashi KOMORIYA, Takayoshi SATO·····	101
<b>Forest management of profit sharing forest: A case of Nakakiyama, Tokyo University of Agriculture</b>	
Takayoshi SATO·····	103
<b>Growth of <i>Cryptomeria japonica</i> specified saplings and reduction of forestation cost by low density planting in Ibaraki Prefecture</b>	
Naoto MAEKAWA, Takanori SUZUKI·····	105
<b>The effect of feeding damage by <i>Plautia stali</i> in different season on germination rate of <i>Cryptomeria japonica</i></b>	
Noriyuki MURO·····	107
<b>Classification of less pollen varieties of <i>Cryptomeria japonica</i> based on flowering characteristics in a miniature seed orchard</b>	
Kosuke SOMA, Shinya ABE·····	109

<b>Incorporating tree-root effects into the slope stability analysis</b>	
Yasuhiko OKADA, Fei CAI	111
<b>Late autumn construction of the slope protection work using the biological soil crust</b>	
Kazuhiro YABE, Mineto TOMISAKA, Tetsushi OZEKI, Yusuke SHIRONO, Yuki RYO, Yukihiro ADACHI, Fumio EGUCHI	113
<b>Relationship between temperature and developmental period in shiitake-pest mushroom fly, <i>Neoempheria bifurcata</i></b>	
Hiroshi KITAJIMA	115
<b>Population density of <i>Platypus quercivorus</i> in <i>Quercus serrata</i> at different forest age and list of species captured by sticky materials</b>	
Kaoru MATSUMOTO, Noriyuki MURO	117
<b>Screening for highly productive lacquer trees (<i>Toxicodendron vernicifluum</i>) by means of external characteristics</b>	
Naoki SEKINE, Hisayasu KOBAYASHI, Masanori KAMINAGA, Hiroshi HOSODA	119
<b>Potential for the control of soil runoff from sloping land with mushroom bed log in tropical island regions.</b>	
Kenichiro KIMURA, Toshihiko ANZAI, Hiroshi MATSUDA, Koichi TAKENAKA	121
<b>Differences in the transfer coefficient of radioactive cesium depending on the tree species in shiitake log cultivation</b>	
Masami IWASAWA, Akane KOMORIYA, Yuichi UGAWA	123
<b>Versatility of the inoculation material for mycorrhizal seedling production associated with a matsutake mushroom</b>	
Hisayasu KOBAYASHI, Masumi KURAMOCHI	125
<b>Reutilization of corn cob meal-based waste substrate for enokitake sawdust based cultivation</b>	
Ayako TAKEDA	127

## 博物館のきのこ展示から森林とのつながりを学ぶことはできるのか？

杉浦克明<sup>1</sup>・三浦万由子<sup>2</sup>・戸口愛里<sup>1</sup>・松倉君子<sup>1</sup>

<sup>1</sup>日本大学生物資源科学部・<sup>2</sup>日本大学大学院生物資源科学研究科

**要旨:** 森林環境教育の活動の場は森林に限らない。誰もが利用できる博物館に着目し、きのこの展示に焦点を当てた。本研究の目的は、博物館におけるきのこ展示の形態、種類、解説文を分析し、きのこ展示から森林とのつながりが学べるのか、またそのためには何が必要なのかを考察することである。調査対象は関東地方の森林関連展示のある14施設とした。調査の結果、11施設できのこ展示が確認できた。展示形態は標本による三次元展示が多く、森林とのつながりを認識しやすい空間再現展示は少なかった。また、博物館によってきのこの展示数と種類数に幅があった。解説文は森林に関連した内容を含む場合もあるが、現状では森林とのつながりを学ぶことは難しいと考えられた。よって、きのこ展示から森林とのつながりを学ぶには解説文の工夫や解説者が必要と考える。

**キーワード:** 博物館, きのこと, 森林環境教育, 展示, 解説文

### Is it possible to learn about the connection to forests from museum mushroom exhibits?

Katsuki SUGIURA<sup>1</sup>, Mayuko MIURA<sup>2</sup>, Airi TOGUCHI<sup>1</sup>, Kimiyo MATSUKURA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Bioresource Sciences, Nihon University; <sup>2</sup>Graduate School of Bioresource Sciences, Nihon University

**Abstract:** The location of forest and environmental educational activities is not limited to forests. Subsequently, this study focused on mushroom exhibits in museums accessible to the general public to analyze the form, type, and explanatory text of mushroom exhibits in museums and clarify the current status of opportunities to learn about the connection between mushroom exhibits and forests. The study was conducted in the Kanto region in Japan, with 14 museums that have forest-related exhibits, and mushroom exhibits were found in 11 museums. The results demonstrated that most of the exhibits consisted of three-dimensional specimens, and few exhibits were spatial reproductions that would facilitate recognition of the connection with forests. The number of mushrooms exhibited and the number of species varied from museum to museum. Although some of the explanatory texts included forest-related information, it was difficult to learn about the connection to forests from the current exhibits at these museums. Therefore, if it is difficult to exhibit mushrooms in a spatial reproduction, it is necessary to devise explanatory texts and explainers if it is difficult to exhibit mushrooms in a spatial reproduction, it is necessary to devise explanatory texts and explainers to learn about the connection between museum exhibits and forests.

**Keywords:** museum, mushroom, forest and environmental education, exhibition, explanatory text

### I はじめに

森林環境教育は森林内で多くの活動が行われており(6)、森林内での体験は欠かせないとの指摘もある(2)。しかし、誰もが森林にアクセスすることは容易ではない。森林環境教育は森林内に限定されたものではなく、公園、学校、博物館などでも森林に関連した学びは可能となっている(3, 5, 10, 11)。

中でも博物館は「社会教育のための機関」(社会教育法第9条)と定められており、年代や天候を問わず展示を通じた学びが可能となっている。また、博物館は多くの人に広く森林について関心を持たせる機能を有することから、森林環境教育の一翼を担っていくことが期待されている(1)。

博物館の展示に関するweb調査を行った報告(5)から、関東地方にある森林関連の展示コーナーを有する博物館は55施設あり、森林関連の展示コーナーの展示形態には、写真やパネル等の二次元型、標本や模型等の三次元型、ジオラマ等の空間再現型が確認されている。

本研究では、森林に関する展示(以下、森林関連展示と称する)の中でもきのこ展示に着目した。森林環境教育プログラムは、観察会、木工、間伐体験などが多く行われていることに加え、きのこの植菌体験作業なども数多く行われている(9)。きのこは森林レクリエーションとしての性格が強い(7, 8)との指摘があり、きのこを通じた森林への学びの現状は明らかになっていない。きのこは日常的に食される特産物であるだけでなく、森林生



と三次元型を併せたものが 18 展示であった。空間再現型を含めた展示は 7 展示と少なかった。このことから、きのこの標本や模型による形態の展示が主となっていた。その一方、森林空間を再現した展示室の中にきのこの展示されているケースは少なく、一部の詳しい人を除けば展示手法からでは森林や樹木とのつながりを連想することは困難と考えられた。

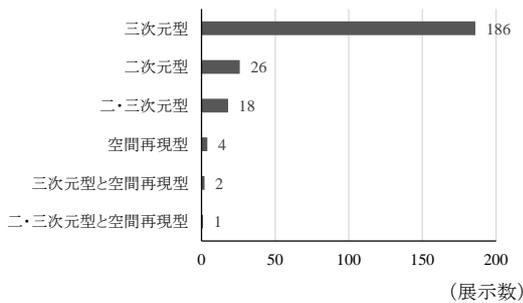


図-1. 各博物館のきのこの展示形態の数

Fig.1 Form and number of mushroom exhibits at each museum

博物館で見ることのできたきのこの種類は 165 種 (○属の一種, ○○の仲間との表示を含む) であり、そのうち 160 種は森林で見ることのできるきのこであった。2 施設以上で見られたきのこは 40 種で、3 施設以上で見られたきのこは表-3 の 16 種であった。このことから、きのこ展示のある博物館においても館ごとに異なる種類のきのこを展示しているといえる。

複数の博物館で展示されているきのこ (表-3) を見ると、タマゴタケ、アラゲキクラゲ、ナラタケ、マツタケ、エノキタケ、ナメコ、シイタケ、ホンシメジなどは食用となるきのこであった。ツキヨタケとニガクリタケは、

表-3. 複数の博物館で展示されているきのこ

Table.3 Mushrooms with exhibits in multiple museums

種類	食毒など	森林で見られる	施設数
タマゴタケ	食	○	5
ツキヨタケ	毒	○	5
カワラタケ	薬	○	4
カMEMシタケ	不明	○	4
アラゲキクラゲ	食	○	3
マスタケ	食(毒性あり)	○	3
ツチグリ	食	○	3
コフキサルノコシカケ	薬	○	3
ナラタケ	食	○	3
マツタケ	食	○	3
ニガクリタケ	毒	○	3
エノキタケ	食	○	3
ナメコ	食	○	3
シイタケ	食	○	3
ドクツルタケ	毒	○	3
ホンシメジ	食	○	3

食用きのこのこと間違えて中毒することが多いとされるものである。ドクツルタケは致死性の猛毒きのこの代表格として挙げられる。カワラタケ、コフキサルノコシカケ、マスタケ、カMEMシタケ、ツチグリは森林生態系における役割やきのこの多様性という視点で展示されていると考えられる。これらのきのこは、人とのつながりが比較的強いものといえ、そのようなきのこが多く展示されやすいと考えられた。

きのこの解説文に着目すると、解説文は 45 種類あり、一つの解説文の中に複数のきのこが対象となっている場合もある。その説明の範囲を見ると (図-2)、地域に関するものが 94 展示、特に指定されていないものが 80 展示、日本以外の国を含む世界に関するものが 46 展示、日本に関するものが 17 展示であった。前述した通り、複数の博物館で展示されているきのこは人とのつながりが比較的強いものと考えられる。そのため、その地域に根差したきのこ展示と解説が中心となっている場合が多いと考えられた。

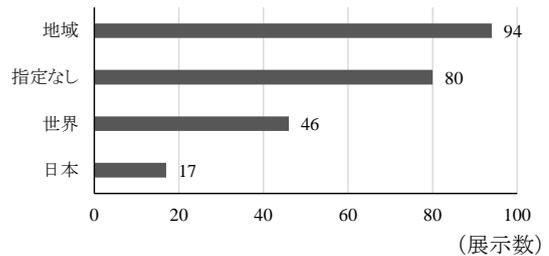


図-2. スケール別のきのこの展示数

Fig.2 Number of mushrooms exhibited by scale

次に、博物館の設置者によって説明の範囲が異なっているのかを確認した。その結果、国立の博物館では、世界または日本といったスケールでの解説がなされていた (図-3)。一方、県立や市町村立の博物館では、地域を対象とした解説が多く、設置者によって解説のスケールが異なることが確認できた。国立の博物館は世界や日本といったより広いスケールでの展示を、県立や市町村立の博物館は、その地域に根差した自然や歴史に関連した展示を主としていると考えられ、それぞれの博物館の役割の違いによるものといえるだろう。

さらに、解説文の中に森林や樹木に関連したものがあるのかを確認した。その結果、45 種類の解説文のうちそれらに該当しないものが 27 種類であった (図-4)。樹木や樹種に関する解説文は 10 種類であり、森林や里山に関する解説文は 8 種類であった。さらに、森林と樹木の両方を含む解説文は 1 種類であった。森林や樹木とのつながりを解説したものは多くはないことに加え、その内

容も「～から発生する」「～に生える」や「雑木林で見られる」といった解説にとどまることが多いことから、現状ではきのこの解説文から森林や樹木とのつながりを学ぶのは容易ではないと考えられた。

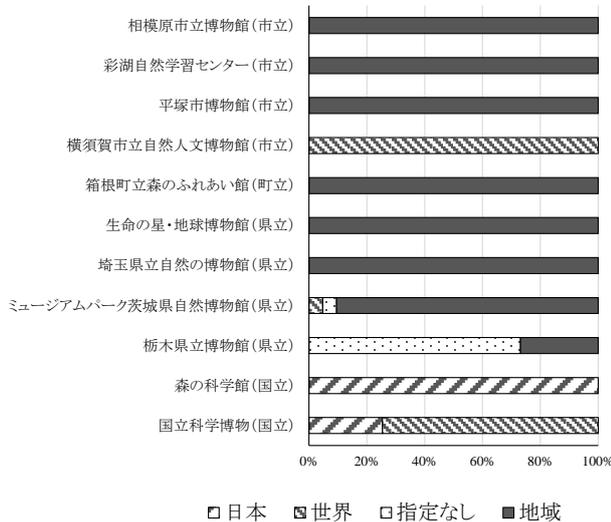


図-3. 博物館別のきのこの展示スケールの割合

Fig.4 Percentage of scale of mushroom exhibits by museum

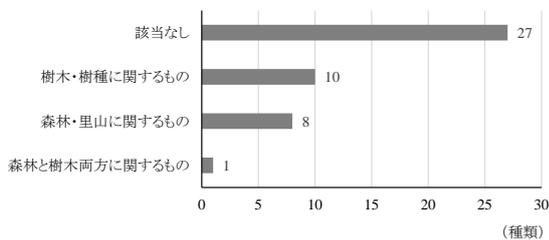


図-4. 森林や樹木に関連したきのこの解説文の数

Fig.4 Number of mushroom descriptions associated with forests and trees

#### IV おわりに

本研究の結果、多くの人々が博物館のきのこ展示を通じて森林とのつながりについて学ぶことは、現状では困難であることが明らかとなった。博物館のきのこ展示から森林や樹木に通じた学びを展開するためには、きのこ展示のある博物館と学びたいきのこを事前に把握する必要がある。

きのこ展示の展示形態を見ると、三次元型が主となっており、きのこの形態は把握することができるが、森林空間を再現した展示室でのきのこは少なく、森林や樹木とのつながりを学ぶことは困難と考えられた。解説文からも森林や樹木とのつながりを学ぶことは難しく、空間再

現型のきのこがあると森林とのつながりを認識できる可能性が高いと考える。しかし、博物館の展示スペースには限りがあり、どこの博物館でもできることではない。

現状の施設を活用し、きのこ展示から森林や樹木とのつながりを学ぶためには、専門家を交えて解説文に工夫をしたり、解説者に協力を仰いだりする必要があると考えられた。

森林環境教育プログラムにおいてもきのこに関連するものは多く開催されているため(9)、きのこ展示と森林環境教育プログラムとの親和性も高いと考えられ、きのこ展示から森林に関する学びへの広がりを見出すことができるのではないだろうか。きのこは食資源として認知されており、その関心も高い可能性がある。

#### 引用文献

- (1) 浜口哲一 (2007) 森林を舞台にした博物館活動の一例-ガイドブックに結晶した自然観察会の積み重ね-. 森林科学 49: 11-14
- (2) 原島幹典 (2007) 林業と森林教育. 森林科学 49: 24-27
- (3) 木山加奈子・井上真理子・大石康彦・土屋俊幸 (2014) 全国における森林学習施設の設置状況-4種のデータソースをもとにしたデータベース構築結果から-. 日林誌 96: 60-64
- (4) 公益財団法人日本博物館協会 (2019) 令和元年度日本の博物館総合調査報告書 <https://www.j-muse.or.jp/02program/pdf/R2sougoutyousa.pdf> (閲覧日 2023年11月7日参照)
- (5) 三浦万由子・杉浦克明 (2023) 関東地方の博物館における森林関連展示の実態. 関東森林研究 74: 21-24
- (6) 大石康彦・井上真理子 (2016) 森林教育活動における場所特性. 日林講 127: 191
- (7) 齋藤暖生 (2001) 森林レクリエーションとしてのキノコ採りの変遷-盛岡市とその周辺地域を事例に-. 東北森林科学会誌 6: 59-66
- (8) 齋藤暖生 (2019) 食用植物・キノコの採取・利用にみる森林文化-文化的要素の抽出および文化動態の解釈の試み-. 林業経済研究 65: 15-26
- (9) 杉浦克明 (2015) 発達段階に応じた森林環境教育の実施の必要性. 日林誌 97: 107-114
- (10) 杉浦克明・清水里彩 (2020) 林試の森公園における樹木を活用した森林環境教育の可能性. 関東森林研究 71(1): 5-8
- (11) 杉浦克明・白濱真友 (2020) 森林環境教育プログラム「子ども樹木博士」の全国的な実施傾向. 日林誌 102: 83-89

## 森林環境教育にみる博物館における教育普及活動の特徴

三浦万由子<sup>1</sup>・杉浦克明<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 日本大学大学院生物資源科学研究科・<sup>2</sup> 日本大学生物資源科学部

**要旨**：森林環境教育は、対象とする人や教育の内容によって特性や役割が異なっている。そこで、本研究は博物館における教育普及活動に着目し、森林に関する活動の特徴を明らかにすることを目的とした。調査対象は、関東地方の森林に関する展示を有する博物館のうち、2021年度の年報および事業報告等を確認できた33施設とした。活動形式は、野外観察会、体験、講座、上映会の4つに分類され、野外観察会が最も多く約7割を占めた。野外観察会の活動場所はすべて設置者の所管を越えず、実施の際に地域の活動団体や公園等と協力および連携を図る場合が多かった。森林関連活動の対象者をみると、年齢に制限を設けていない活動が過半数を占めていた。博物館における森林に関する教育普及活動は、野外観察会を中心に行われ、年齢制限のない活動が多い特徴を有していた。

**キーワード**：森林環境教育、森林学習、博物館教育、教育普及活動

### Characteristics of educational activities in museums for forest and environmental education

Mayuko MIURA<sup>1</sup>, Katsuaki SUGIURA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduate school of Bioresource Sciences, Nihon University; <sup>2</sup>College of Bioresource Sciences, Nihon University

**Abstract**: The characteristics and roles of forest and environment education differ depending on the target audience and the content of the education. Therefore, this study aims to clarify the characteristics of activities related to forests, focusing on educational activities in museums. A survey was conducted of 33 museums in the Kanto region of Japan that had forest-related exhibits and available annual reports and program reports for fiscal year 2021. Activity formats were classified into four categories: field observation, hands-on experience, lectures, and screenings, with field observation activities accounting for the largest number of activities (more than 70%). All the field trip sites were located within the jurisdiction of the museum's establisher, and in many cases, cooperation and collaboration with local groups and parks were sought during the activities. The majority of forest-related activities were not age-restricted. Forest-related educational activities at museums were characterized by focusing on field trips, and many of the activities had no age limit.

**Keywords**: forest and environmental education, forests and forestry learning, museum education, educational activities

### I はじめに

2013年のユネスコ総会において、森林も対象になっているESD (Education for Sustainable Development: 持続可能な開発のための教育)の強化・推進が図られるようになり、2016年には森林・林業基本計画において「森林環境教育等の充実」の項が明記された。このように近年では、森林環境教育を推進する動きが高まっている。

林野庁(16)は、森林環境教育を「森林内での様々な体験活動を通じて、森林と人々の生活や環境との関係について理解を深める取組」と定義し、森林内に限定した。それに対し比屋根(10)は、森林や木材を対象とした森林・林業にかかわる包括的な活動を「森林環境教育」と呼称した。いずれの定義をみても、対象とする人の年齢や性別

等は特に定められておらず、森林環境教育はすべての人が学ぶことができるものと捉えることができる。また森林環境教育は、教育全般の領域観および育成対象の観点から、日常生活、普通教育、専門教育、林業普及、社会教育の5つに区分が試みられており(2)、それらをもつ特性や役割を検討し、活動の実践に従事する関係者間の相互理解や連携を深めることが求められている(2)。

市民を育成対象とするものに社会教育がある。森林・林業系の社会教育施設である森林学習施設は、幅広く存在することが明らかにされており、こうした施設の総合的活用による森林環境教育の推進が期待されている(3)。浜口(9)は、森林について大勢の人に広く関心をもってもらい、その生態について理解してもらう上での博物館の

役割を指摘し、森林環境教育の一翼を担うことへの期待を述べている。博物館は、資料の収集・保管、調査・研究、展示による教育を一体として行う機関であり、実物資料を通じて人々の学習活動を支援する施設として重要な役割を果たす(13)。近年、博物館の学習支援機関としての役割の充実が求められており、博物館における教育普及活動が重要視されている(15)。なお、博物館における教育普及活動とは、博物館が展示以外の手段によって利用者に対応する活動を指すものである(7)。

公益財団法人日本博物館協会が実施する日本の博物館総合調査の報告(4)によると、およそ半数以上の博物館が実技・対話等を伴う体験型活動を、自然史博物館に限定すると、約7割の博物館が見学会・観察会等を実施していた。森林環境教育のより一層の充実に向けては、博物館の活用が期待されるが、博物館における森林学習の実態については把握されていない(3)。そのため、本研究では、社会教育施設の一つである博物館に着目した。市民を育成対象とする社会教育を担う博物館における教育普及活動の特性や役割を把握することは、森林環境教育活動の実践に従事する関係者間の相互理解や連携の深化といった森林環境教育の発展につながる。

そこで、本研究の目的は、一般の人々が博物館における教育普及活動を通じて、森林について学ぶことのできる内容や方法を分析し、その特徴を明らかにすることである。

## II 方法

三浦・杉浦(12)は、公益財団法人日本博物館協会会員館を基盤に、関東地方の博物館の設置状況を把握し、Webサイトから森林に関する展示を有する博物館を抽出した。それによると、関東地方の博物館は835施設あり、森林に関する展示を有する博物館は55施設であった。本研究では、その55施設のうち、2021年度の年報や館報等の公的な活動報告資料を入手できた33施設を分析対象とした。

**1. 森林に関する教育普及活動の抽出** まず、博物館における教育普及活動について資料を基に抽出した。教育普及活動の形式(以下、活動形式)には、野外で実施する「野外観察会」、参加者自身の行動を主とする「体験」、室内での座学である「講座および講演」、鑑賞を主とする「上映会」の4つがあった。

次に、活動形式ごとに森林に関する教育普及活動(以下、森林関連活動)を抽出した。野外観察会では、森林内で行われる活動であれば抽出することとした。なお、本研究における森林内の定義は、井上・大石(1)によって

整理された教育のための森林のタイプ分けを参考にし、自然公園等も含むこととした。体験は、対象物や題材が森林に存在する場合、講座および講演、上映会は、森林そのものや森林に存在するものが題材になっており、森林に関連した内容であると判断できた場合は抽出した。また、いずれの活動形式においても、樹木および木材が対象である場合は抽出することとした。以上のルールに基づき抽出された森林関連活動について、内容、実施の仕組み、対象年齢について整理した。

**2. 森林に関する教育普及活動の分析** 内容は、森林に関する展示の対象として挙げられている10分類(植物、文化、木材、昆虫、動物、きのこ、地形、自然環境、保護、産業)を参考に(11)、延数で整理した。実施の仕組みは、博物館のみで実施する活動を「博物館のみ」、博物館が主体となって実施するが、外部講師やボランティア等の博物館以外の協力者(団体および組織も含む)が存在する活動を「協力」、共催等の博物館と同格の主体者が存在する活動を「連携」として3つに分類した。対象年齢は、制限なし、未就学児、小学生以上、中学生以上、高校生以上、不明の6つに分類し整理した。

## III 結果

**1. 森林に関する教育普及活動の抽出** 2021年度の年報や館報等の公的な活動報告資料を入手できた33施設のうち、その年度に教育普及活動自体の実施がなかった博物館は4施設あった。教育普及活動を実施した29施設のうち、森林関連活動の実施が確認された博物館は20施設で、9施設では確認されなかった。森林関連活動の活動形式を分類し、活動の実施日数を基準に活動件数を計上(1日複数回実施の場合も1件)すると、野外観察会が113、体験が49、講座および講演が7、上映会が3となった。

**2. 森林に関する教育普及活動の分析** 抽出した森林関連活動について、活動形式ごとに内容を分類し活動件数を整理した(図-1)。複数の内容を含む場合があるため、活動件数は延数で示した。自然観察や里山散策等、具体的な学習対象を定めない活動が多くみられたことから、先に述べた森林に関する展示の対象として挙げられている10分類の他に、自然全般の項目を加えた。なお、自然環境、保護、産業に該当する活動は確認されなかった。自然全般を対象とした野外観察会が66となり、最も多かった。次に植物を対象にした体験が44と多く、文化・木材を対象にした体験も多かった。活動場所については、体験、講座および講演、上映会では博物館館内や周辺での実施が多く、野外観察会においても、すべての活動が

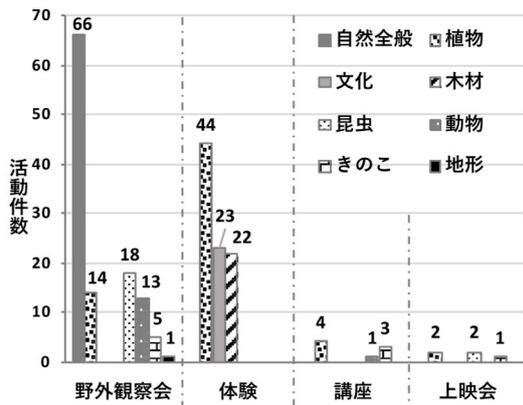


図-1. 森林関連活動の活動形式と内容  
Fig.1 Activity format and contents of forest-related educational activities

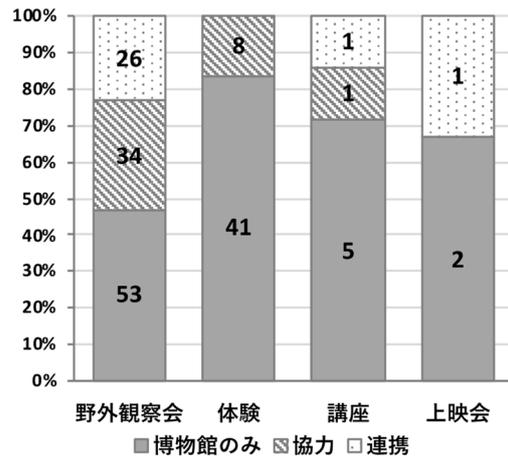


図-3. 森林関連活動の活動形式と実施の仕組み  
Fig.3 Activity format and implementation mechanism for forest-related educational activities

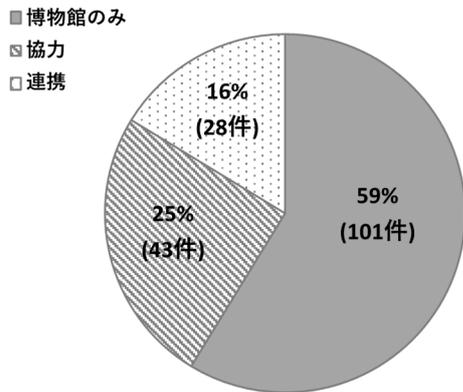


図-2. 森林関連活動の実施の仕組み  
Fig.2 Implementation mechanism of forest-related educational activities

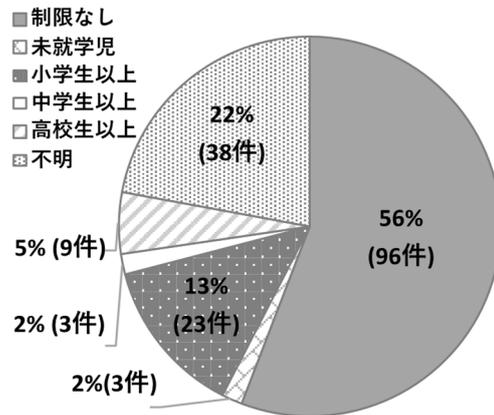


図-4. 森林関連活動の対象年齢  
Fig.4 Target age range for forest-related educational activities

設置者の所管を越えていなかった。

実施の仕組みを、博物館のみ、協力、連携の3つに分類した結果、博物館のみが101で約6割、協力が43で約3割、連携が28で約2割と、博物館のみの活動が過半数を占めた(図-2)。活動形式ごとの傾向をみると、野外観察会においては、協力と連携がそれぞれ約3割ずつを占めており、博物館のみは過半数に満たなかった(図-3)。なお、協力者としては、地域の活動団体が多く、活動場所を提供する公園の管理団体や各博物館のボランティアも存在した。連携者としては、地域の博物館や図書館、公民館等の社会教育施設を含む行政機関が多かった。

対象年齢は、特に定めなく、誰でも参加できる活動が約6割を占めた(図-4)。定めがある場合も、最低限度を示すのみであり、幅広い年齢層の人々が一緒になって参

加できる活動が多かった。

#### IV 考察

博物館における森林に関する教育普及活動は、野外観察会を中心に行われ、年齢制限のない活動が多い特徴を有していた。

森林関連活動の活動形式について、野外観察会が最も多かった理由の背景には、博物館の学習支援機関としての役割の充実が求められている(15)ことが挙げられる。戸田(7)は、博物館の活動目的は観察すること自体であるとし、展示室は出発点・拠点に過ぎず、これを契機として利用者を現実のフィールドへ誘い出してこそ、初めて活動目的が達せられると述べている(7)。よって博物館は、利用者にとって身近な地域内のフィールドを活動場所と

して自然とふれあう機会を提供することで、利用者がより地域の自然に関心をもつよう促し、現実のフィールドへ誘うきっかけづくりをしていると考えられる。また、体験では、簡単なクラフトや草木染などが多く実施されており、日本の文化的な側面から木と生活のつながりを意識づける機会が提供されていると考えられた。

野外観察会においては、地域の活動団体、外部講師等の協力者や、地域の社会教育施設を含む行政機関等の連携者が存在する傾向がみられた。野外観察会では、活動に関する安全管理の面を踏まえ、求められる指導者数が多くなることが推察されるが、日本の博物館総合調査(4)によれば、約7割の博物館が「職員数の不足」を課題として挙げている。そのため、活動フィールドが広く、安全な運営のために万全な注意が求められる野外観察会では、博物館の職員だけでなく、協力者および連携者の存在が重要な役割を果たしていると考えられた。

博物館における森林関連活動の対象者をみると、特に年齢を定めることなく、誰でも参加できる活動が約6割を占めた。社会教育法に基づき博物館は、生涯学習社会の実現に向けて大きな役割をもち、すべての国民に対し学習機会を提供することが望ましいとされており(14)、これを要因として、対象年齢に制限のない活動が多くなっていると考えられた。博物館における森林関連活動の特徴としては、参加の間口が広いことが挙げられるだろう。

## V おわりに

博物館のような身近な施設において実施される森林関連活動は、誰もが気軽に参加できることから、主な利用者である地域住民にとって、森林への学びの入り口になっている可能性が示唆された。杉浦(6)は、森林環境教育の対象者は主に児童であり、大人を対象にした実施事例が少ないことを明らかにし、最終目標の「参加」に課題を呈している。学術と市民の間にかげられた橋としての働きをもつ博物館(8)を活用することによっては、日常で意識しづらい森林が生活と密接に関係していることを実感させることができ、身近な自然から森林について考える機会を提供し得るだろう。

森林環境教育をより広い層に向けた活動にする上では、市民ニーズが集積する博物館(5)の活用は有効であると考えられる。森林環境教育の実践者は、今後、森林への学びの入り口としての機能を有する博物館との結びつきを強めることが重要である。

## 引用文献

- (1) 井上真理子・大石康彦 (2013) 「教育のための森林」の公開のために必要な管理、運営に関する取り組み内容の分析—多摩森林科学園の一般公開を事例として—。森林計画誌 47: 103-116
- (2) 大石康彦・井上真理子 (2020) 森林教育の領域に関する実証的考察。日林誌 102: 162-172
- (3) 木山加奈子・井上真理子・大石康彦・土屋俊幸 (2014) 全国における森林学習施設の設置状況—4種のデータソースをもとにしたデータベース構築結果から—。日林誌 96: 60-64
- (4) 公益財団法人日本博物館協会 (2019) 令和元年度日本の博物館総合調査報告書。 <https://www.j-muse.or.jp/02program/pdf/R2sougoutyousa.pdf>
- (5) 佐久間大輔 (2005) 自然史系博物館の生態学分野における潜在的可能性—総合討論をふまえた現状分析と連携の提言—。日本生態学会誌 55: 474-480
- (6) 杉浦克明 (2015) 発達段階に応じた森林環境教育の実施の必要性。日林誌 97: 107-114
- (7) 戸田孝 (2006) 「環境を見つめる活動」としての博物館活動。日本科学教育学会年会論文集 30: 483-486
- (8) 畑田彩・鈴木まほろ・三橋弘宗 (2008) 博物館と生態学: まとめ—連載「博物館と生態学」を振り返って—。日生誌 58: 57-61
- (9) 浜口哲一 (2007) 森林を舞台にした博物館活動の一例—ガイドブックに結晶した自然観察会の積み重ね—。森林科学 49: 11-14
- (10) 比屋根哲 (2003) 森林環境教育。森林計画学 (木平勇吉編): 204-222。朝倉書店
- (11) 三浦万由子・杉浦克明 (2023) 関東地方の博物館施設における森林関連コーナーの展示構造。第134回日本森林学会大会学術講演集。p134
- (12) 三浦万由子・杉浦克明 (2023) 関東地方の博物館における森林関連展示の実態。関東森林研究 74: 21-24
- (13) 文部科学省 (2006) 平成18年版文部科学白書。第2部第1章第4節3. 地域の学習拠点の整備・形成・運営。p70
- (14) 文部科学省 (2011) 博物館の設置及び運営上の望ましい基準。2011年12月20日文部科学省告示第165号
- (15) 文部科学省 (2021) 新しい時代の博物館制度のあり方について。中央教育審議会答申
- (16) 林野庁 (2003) 平成14年度図説森林・林業白書。日本林業協会、東京: 330pp

## 図鑑作成にみる市民の生物への興味と関心

### ～里山保全ボランティア養成講座の参加者を対象として～

園原和夏<sup>1</sup>・杉浦克明<sup>1</sup>

<sup>1</sup>日本大学生物資源科学部

**要旨**：神奈川県藤沢市では市民向けの里山保全ボランティア養成講座が行われており、研修プログラムの一環として生物図鑑の作成がある。そこで本研究の目的は、作成者がその対象物をどのように捉え、どのような興味・関心を持っているのかを明らかにすることである。図鑑の対象物や様式は自由で、約10ヶ月かけて作成する。この図鑑36名分を分析対象とした。その結果、対象としては木本や草本といった植物が最も多く、初心者でも同定や観察がしやすいことが考えられた。また、作成者の着眼点から、特定の生物の図鑑、特定の場にいる生物の図鑑、自身の管理下での記録図鑑の3つのタイプに分類でき、着眼点の違いが明らかになった。本研究の結果は、参加者の興味・関心を考慮した様々な森林環境教育プログラム開発に役立てることが可能であろう。

**キーワード**：生物図鑑、市民ボランティア、研修プログラム、森林環境教育

### Citizens' interest in living things as seen in the creation of pictorial books: For participants in the satoyama conservation volunteer training course

Waka SONOHARA<sup>1</sup>, Katsuaki SUGIURA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Bioresource Sciences, Nihon University

**Abstract**: Fujisawa City, Kanagawa Prefecture, has a satoyama conservation volunteer training course for citizens. The creation of a biological pictorial book is one of the biology training programs. Therefore, the purpose of this research is to clarify how the creators perceive the object and what interests they have. The subjects and format of the books are free, and they take about ten months to create. We used 36 books of these as the subject of analysis. As a result, the most common targets for books were woody and herbaceous plants, which were thought to be easy for even beginners to identify and observe. Based on the creator's points of view, they can be classified into three types: illustrated encyclopedias of specific creatures, illustrated encyclopedias of organisms in specific places, and illustrated encyclopedias of records under one's own management, and the differences in point of view became clear. The results of this study will be useful in developing various forest environment education programs that take into account the interests and concerns of participants.

**Keywords**: biological pictorial book, citizen volunteer, biology training program, forest environmental education

#### I はじめに

全国的に一般の市民を対象とした森林ボランティアの育成が行われており(1)、ボランティア活動を通じた参加者の森林への興味・関心の広がり期待されている(2)。

神奈川県藤沢市では森林ボランティア活動に参加するために、「里山保全ボランティア養成講座」を受講し修了しなければならない。その養成講座の中では、生物図鑑を作るプログラムが設けられている。通常市販されている図鑑は系統的に分類され、写真やイラストを用いて説明がなされているものであるが、この養成講座では図鑑にする対象も種類数も書式もすべてが自由になっている。つまり、決まりがないため受講者の興味や関心は、取り

上げた生物種、種数、説明文等に反映されていると考えられる。したがって、こうした図鑑への掲載の仕方や傾向を解析すれば、多くの人々がどういった視点で対象物に興味や関心を持つかがわかり、森林環境教育プログラムに活用することが可能になる。特に、青年期以降(中学生以上)の森林環境教育プログラムの実施が少ない中(4)、この養成講座の受講者の興味や関心を把握することは重要である。

そこで本研究の目的は、森林ボランティアを目指す市民を対象に、自然や生物の理解において、どのような点に興味・関心を向けているのかを明らかにし、森林環境教育などの普及・啓発に役立てる一助とすることである。

## II 材料と方法

1. 「里山保全ボランティア養成講座」の概要 本研究で対象とする図鑑作成プログラムは、神奈川県藤沢市のNPO 法人藤沢グリーンスタッフの会と藤沢市みどり保全課の協働事業である「里山保全ボランティア養成講座」のプログラムの1つである(3)。本講座は、藤沢の自然を守るボランティアになることを目指し、里地里山の保全に必要な知識や技術を基礎から学ぶことを目的に開催されている。受講者数は1講座につき20名程度で、当年4月から翌年3月まで1年かけて、講義や実技を含めた月1回(全12回)の研修を受ける。図鑑作成プログラムは「マイ生物図鑑の作成」として本講座の中に含まれる。

受講者は図鑑作成に関する説明および講義と演習を受ける。図鑑の対象は生物であれば自由とし、講座の開講日とは別に受講者が各自で「宿題」として作成すること、作成期間は4月～1月までの約10ヶ月間で、季節変化なども考慮して観察と記録を行うこと、記録をパワーポイントやワード、あるいは手書きでまとめ、オリジナル図鑑として1月に提出する等の説明を受ける。講義では、「樹木図鑑」を例に掲載項目やレイアウトについて簡単に説明を受ける。ただし、そうした説明を受けた上で、作り方やレイアウトは自由としている。また、受講者は講師の指導のもとで樹木図鑑を使って、実際に数種類の樹木の樹種同定を体験する。

2. 研究方法 調査対象は2021年度と2022年度の受講生が提出した41人分の生物図鑑のうち、入手できた36人分の生物図鑑である。なお、生物図鑑の所有者はNPO 法人藤沢グリーンスタッフの会と藤沢市みどり保全課であり、解析の際には許可を得て使用した。

まず、図鑑に記載されている内容をもとに、分析①掲載された生物の傾向、分析②着眼点の傾向について分析した。なお、分析の対象とした記載内容としては、図鑑のタイトルと掲載種の説明のほか、記載されている場合は、「はじめに」や「おわりに」、その他の記載も参照した。分析①では、どのような生物の分類や種が多く取り上げられているのかについて調べた。分類方法は次の通りである。植物は種子植物・シダ植物・コケ植物・緑藻類に分けた。種子植物については、本研究では木本種数の把握を行い森林環境教育の視点で考察するため、木本類、タケ・ササ類、草本類に分類した。動物は脊椎動物と無脊椎動物の分類に従い分類した。図鑑掲載種をこれらの分類区分で集計した結果、該当した17分類別に集計した。図鑑に掲載された生物について、属する分類別に集計した数を分類数、種別に集計した数を種数とした。分類分析②では、作成者の着眼点に基づきタイプ別に分

類し、それぞれのタイプによる手法や掲載種の傾向を調べた。

## III 結果と考察

1. 掲載された生物の傾向 その生物種を取り上げた受講者が何人いたかについて分類別に示す(図-1)。受講者は36名であるが、1人で木本類と草本類を扱うなど、複数の分類の生物種を取り上げているケースもあるため、重複を含む数値である。もっとも多いのが木本類で、36人中22人の受講者が取り上げていた。2番目が草本類16人で、木本や草本といった植物を取り上げている人が多い傾向が見られた。次いで昆虫類11人、4番目は鳥類10人と続いた。木本類が多かった理由としては、受講者は里山保全活動への関心があることから、もともと樹木にある程度の関心があることに加えて、木本は初心者でも比較的同定しやすいこと、動かないため撮影や繰り返しの観察がしやすいことが考えられた。動物では、身近にいて比較的遭遇しやすい鳥類と昆虫類が多かったと考えられる。

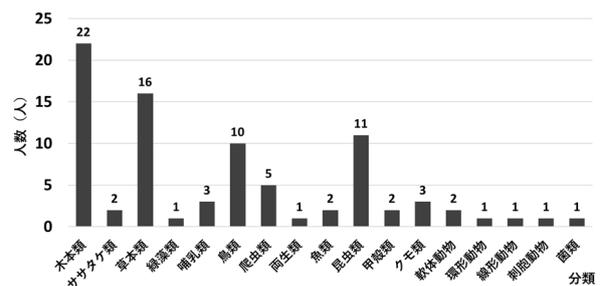


図-1. 掲載生物の分類別の人数

Fig. 1 Number of people by taxonomy of listed organisms

この上位4分類における掲載種を表-1に示す。ここでは3人以上が掲載している種を示した。特定の種を複数の人が取り上げているケースについては、掲載者数が多くても6人程度で、極端に多くの人に取り上げられている種があるわけではなく、観察者の興味に違いがあるといえた。また、特に表-1.a.木本類とb.草本類の種について見ると、アベリアやコスモスなどの園芸品種やセイタカワダチソウやセイヨウタンポポといった外来種が多く含まれていた。外来種に着目して取り上げている場合もある一方で、植え込み、道端、公園などを観察対象とした受講者も多かったことから、植栽された園芸品種や近年、市街地などでも分布を拡大している外来種が多く含まれたものと考えられた。

次に、受講者1人当たりの掲載種数を図-3に示す。最小1種、最大201種で、掲載種数の幅は広がった。100種

表-1. 木本類・草本類・鳥類・昆虫類の上位掲載種  
Table 1 Top listed species of woody plants, herbs, birds, and insects

a.木本類の上位掲載種 182種掲載, 掲載者22人		b.草本類の上位掲載種 233種掲載, 掲載者16人	
掲載種	掲載者数	掲載種	掲載者数
サルスベリ	6	ユウゲショウ	5
フジ	5	シロツメクサ	4
エゴノキ	4	セイタカアワダチソウ	4
アジサイ	3	セイヨウタンポポ	4
アベリア	3	ツユクサ	4
ガクアジサイ	3	アガパンサス	3
ガマズミ	3	アレチウリ	3
トベラ	3	イスタデ	3
ミズキ	3	エノコログサ	3
モッコク	3	オオキンケイギク	3
		カタバミ	3
		カラスノエンドウ	3
		コスモス	3
		コマツヨイグサ	3
		ヒガンバナ	3
		ブタナ	3

c.鳥類の上位掲載種 78種掲載, 掲載者10人		d.昆虫類の上位掲載種 194種掲載, 掲載者11人	
掲載種	掲載者数	掲載種	掲載者数
ハクセキレイ	4	ツマグロヒヨウモン	4
ムクドリ	4	アオスジアゲハ	4
メジロ	4	アキアカネ	3
ウグイス	3	イチモンジセセリ	3
シジュウカラ	3	オンパッタ	3
スズメ	3	キアゲハ	3
ツバメ	3	クロマダラソテツジミ	3
ハシボソガラス	3	ヒメウラナミジャノメ	3
ヒヨドリ	3	ヤマトシジミ	3

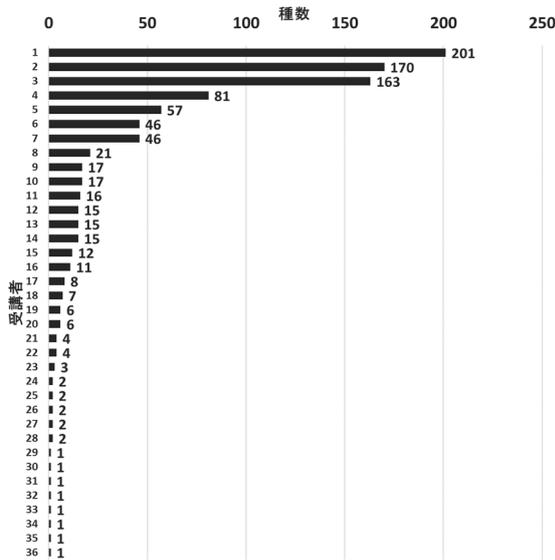


図-2. 受講者 1 人当たりの掲載種数  
Fig.2 Number of species published per student

以上掲載しているのは 3 人で、ごく一部であった。一方、20 種以下の方は 36 人中 28 人で、5 種以下の方も 16 人いた。平均値は 26.6 種であるが、中央値は 6.5 種であり、全体で見ると 1 人当たりの掲載種数はそれほど多くない結果となった。種数が少なかった理由として、生物種の同定が困難で多くの生物を掲載できなかった場合も見受

けられたが、テーマを設けてあえて種を絞り、多様な視点から説明を行うなどして深く掘り下げる場合が多く見られた。

2. 着眼点の傾向 作成者の着眼点から、図鑑は以下の 3 タイプに分類された。まず、特定の生物に着目し、その生態や四季の変化を調査しているものは“生物”に着目したタイプ、近所・公園等といった特定の場所に着目し、そこにどのような生物がいるか調査しているものは“場”に着目したタイプ、生物の成長・栽培・飼育等の記録形式となっており、施した手入れに対する変化を見たり、サイズや気温等の計測を行っているものは“管理下の変化”に着目したタイプとした。その結果、“対象”に着目したタイプが 15 件、“場”に着目したタイプが 11 件、“管理下の変化”に着目したタイプが 11 件となった(表-2)。表-2.b と c についてはどのような生物を観察したかを括弧内に示し、表-2.a と c の生物名は図鑑に掲載された表記で示した。なお、受講者は 36 名であるが、1 人だけ異なる内容の 2 本立ての図鑑を作成していたことから、2 つの分類にそれぞれ振り分けたため、合計は 37 件となっている。分類結果は、対象に着目したタイプがもっとも多いものの、極端に偏ることなく比較的均等に分かれる結果となった。

まず、対象に着目タイプについてみると(表-2.a)、さらに 3 つの傾向にわかれた。1 つ目は「野鳥」から「ナンキンハゼ」までの 4 件のグループで、特定の種や分類を中心に、その生物を観察する際に見つけた種も一緒に掲載したり、その生物と関わりの深い生物も一緒に取り上げていた。例えば、四季を通じてナンキンハゼの木に集まる鳥類や昆虫類を掲載するといった内容である。このグループは、掲載された分類数も種数も多めの傾向となった。2 つ目は「鳥」から「竹」までの 4 件のグループで、特定の分類を取り上げ、それに属する種を調べており、分類数少なめ・種数多めであった。3 つ目は「ウグイス」から「サルスベリ」までの 7 件のグループで、特定の 1 種や 1 個体を取り上げ、それを多様な視点から詳しく調べていた。このグループは分類数・種数ともに少なめの傾向となった。

場に着目したタイプをみると(表-2.b)、着目している場所は、公園やふだん歩いている散歩やランニングのコース沿いが多かった。掲載された分類数と種数をみると、その場所を手あたり次第に調査する傾向があることから、全体的に掲載分類数や種数が多くなった。また、公園は生物がいる場所として想起しやすいことが考えられた。

管理下の変化に着目したタイプでは、主に果樹や野菜が対象となっていた(表-2.c)。栽培種が限定的であるこ

とや、屋内の鉢植えなどで観察しているケースも多いことから、登場する種は少なく、全体的に分類数や種数が少ない傾向となった。

#### IV おわりに

図鑑の対象としては、木本類・草本類・昆虫類・鳥類が多く取り上げられていた。特に、木本と草本を中心とした植物が多かった。これは、もともとの関心の高さのほかに、同定や観察のしやすさの兼ね合いから選ばれたものの含まれていると考えられ、参加者が本来感じている「最も興味のあるもの」とは異なる可能性が考えられる。しかし、そうした場合が含まれているとしても、木本が多く取り上げられたことは注目に値する。図鑑作成が「樹木」に注目したり理解を深める機会となった可能性が考えられ、里山保全ボランティアの人材育成だけでなく、森林環境教育の観点でも意義のあるプログラムになると考えられる。

また、人当たりの掲載種数は36人中28人が20種以下となり、それほど多くなかった。詳しい調査や栽培のために意図的に1種に絞っている人も一定数存在したことも原因の1つである。その一方、一部に100種以上掲載している人も見られ、質的な関心と量的な関心とで2極化したことが考えられた。

作成者の着眼点は3つのタイプに分類できた。生物に着目しているタイプは、特定の生物を中心に探索しており、その生物の生態や特徴、その生物の他の生物との関係性等に関心があると考えられた。場に着目しているタイプは、特定の場にいる生物を網羅的に調査しており、「どのような生物がいるか」や「生物目録の作成」に関心があると考えられた。管理下の変化に着目しているタイプは、自身の管理下での変化の計測等を交えて記録しており、「管理が生物に与える影響」に関心があると考

られた。これら3つのタイプは、大きく偏ることなく比較的均等に分かれていた。

今回対象とした図鑑作成では自由形式をとった結果、種の同定を想定した博物学的・系統的な通常の「図鑑」とは異なる形式も見られた。しかし、それは受講者の独自性や表現の工夫の余地に繋がったともいえる。その結果、図鑑をきっかけとして、受講者がさまざまな視点やアプローチで生物への理解を深めることができたと考えられる。一方で調査の対象が1～5程度程度の少数の生物に限られている場合も見られた。そこで、複数人向けのプログラムとして図鑑作成を行う場合は、発表会等で互いの成果を共有すると、他の作成者の生物の観察方法やまとめ方を知ったり、より多くの生物種の知見を得ることができることから、教育的効果が高まると考えられる。

今回の結果から、受講者の興味や関心が見え、森林環境教育プログラムの作成時に役立つと考えられる。

**謝辞：**貴重なデータを提供して頂いた NPO 法人藤沢グリーンスタッフの会と藤沢市みどり保全課の皆様には感謝申し上げます。

#### 引用文献

- (1) 市川貴大 (2009) 都道府県による一般住民が対象の森林ボランティアを育成するための研究や実習等の把握. 野外教育研究 12: 35-43
- (2) 長瀬安弘・吉田鉄也・野嶋政和 (1998) 京都府山城町における森林ボランティア参加者の意識について. ランドスケープ研究 61: 743-748
- (3) NPO 法人藤沢グリーンスタッフの会 Web サイト (<https://www.f-green-s.com/>) (2023年10月20日参照)
- (4) 杉浦克明 (2015) 発達段階に応じた森林環境教育の実施の必要性. 日林誌 97: 107-114

表-2. 各タイプの対象・掲載分類数・掲載種数

Table 2 Target, number of listed categories, number of listed species of each type

a. 生物に着目したタイプ (15件)			b. 場に着目したタイプ (11件)			c. 管理下の変化に着目したタイプ (11件)		
生物	掲載分類数	掲載種数	場	掲載分類数	掲載種数	管理	掲載分類数	掲載種数
野鳥	8	201	公園 (草本類・昆虫類・木本類他)	6	170	計測 (姫林檎)	3	4
樹木	7	163	公園 (昆虫類・鳥類)	2	6	栽培 (ブドウ)	2	2
藤沢メダカ	6	15	公園・その周辺 (昆虫類・木本類・哺乳類・鳥類他)	6	8	計測 (バナナ)	1	7
ナンキンハゼ	4	15	公園 (草本類・木本類)	2	57	栽培・剪定 (ボンカンとガジュマル)	1	2
鳥	1	17	公園 (木本類・草本類・緑藻類)	3	16	栽培 (ナス・きゅうり)	1	2
雑草	1	21	海岸植物 (木本類・草本類)	2	11	栽培 (サトイモ)	1	1
樹木	1	10	身近 (昆虫類・草本類・木本類他)	5	46	栽培 (ほうれん草)	1	1
竹	1	3	散歩コース (草本類・木本類)	2	17	栽培 (サフラン)	1	1
ウグイス	1	2	ランニングコース (草本類・木本類)	2	15	剪定 (カシワバアジサイ)	1	2
ハクセキレイ	1	1	ジョギングコース (草本類・木本類)	2	81	剪定 (庭木)	1	6
カントウタンボコ	1	4	畑 (草本類・ササタケ類)	2	46	飼育 (キアゲハ)	1	1
ウメドキとモッコク	1	2	※種数が多い順に分類数を示す					
モミジバフウ	1	1						
サルスベリ	1	1						
サルスベリ	1	1						

## スギ林及びヒノキ林における強度間伐後の下層植生の変化

飯田玲奈<sup>1</sup>

<sup>1</sup>群馬県林業試験場

**要旨:** スギ林及びヒノキ林の過密林分において、下層植生の回復を図るため強度間伐の方法を検討した。材積間伐率の異なる試験地を設け、間伐後の下層植生の回復状況について4年間調査した結果、スギ林は材積間伐率によらず間伐後の植被率及び最大植生高が増加した。ヒノキ林は材積間伐率30%以上の林分において、間伐後の植被率、最大植生高及び植生乾燥重が大きく増加した。過密人工林において、間伐後の光環境を維持し、下層植生を回復させるために必要な材積間伐率は、スギ林で25%~30%程度、ヒノキ林で30%~35%程度であることが示唆された。

**キーワード:** 過密人工林, 強度間伐, 材積間伐率, 下層植生

### Changes in understory vegetation after intensive thinning in Japanese cedar and cypress stands

Reina IIDA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gunma Prefectural Forestry Experiment Station

**Abstract:** The purpose of this study was to examine intensive thinning methods to restore an understory vegetation in overcrowded Japanese cedar and cypress stands. For that, we set up the test sites with different volume thinning rates and investigated the recovery conditions of an understory vegetation after thinning for 4 years. As a result, in Japanese cedar stands, the understory vegetation cover rate and maximum vegetation height increased after thinning, regardless of the volume thinning rate. In Japanese cypress stands where the volume thinning rate was 30% or more, the understory vegetation cover rate, maximum vegetation height, and vegetation dry weight increased significantly after thinning. This study suggested that in overcrowded artificial forests, the volume thinning rate required to maintain the light environment in the forest and restore the understory vegetation after thinning is approximately 25% to 30% for Japanese cedar stands and 30% to 35% for Japanese cypress stands.

**Keywords:** overcrowded artificial forests, intensive thinning, volume thinning rate, understory vegetation

#### I はじめに

群馬県では、2014年4月から1期5年としてぐんま緑の県民税基金事業を開始し、経営が成り立たない人工林において本数間伐率35%以上の強度間伐を実施している。間伐後の光環境改善による下層植生の増大及びリターの堆積は、土壌侵食及び土砂流出の防止(1, 2, 8)、浸透能低下抑制(7, 9)などの水土保全機能の回復に有効であるが、第1期事業地において、間伐による光環境の改善効果を調査した結果、本数間伐率による間伐では、光環境の改善及び下層植生の回復状況が林分によって大きく異なることが示された(3)。本数間伐率による間伐では、選木した個体サイズの違いにより林内空間の開き具合が異なるため、どの林分においても間伐後の光環境の改善効果を期待することは困難であると考えられた。そこで本研究では、材積間伐率による間伐を行うことにより林内空間を確実に開けることで、光環境の改善及び下層植生の回復が期待できるかを調査した。

#### II 材料と方法

調査は2019年から2023年の6月から9月に行った。試験地は、第2期ぐんま緑の県民税基金事業地からスギ8林分10プロット、ヒノキ5林分5プロット、群馬県林業試験場実験林からスギ3林分7プロット、ヒノキ1林分2プロットを選定した(表-1, 2)。各プロットについて間伐前である2019年に毎木調査を行った結果、スギ林、ヒノキ林ともに形状比が高く、相対幹距比は早急に間伐が必要とされる14%以下の林分が多い状況であった(表-1, 2)。間伐時の材積間伐率はスギ林8~33%、ヒノキ林5~37%、本数間伐率はスギ林21~55%、ヒノキ林15~51%であった(表-1, 2)。間伐後(2020年~2023年)の調査項目は、林内相対照度、植被率、最大植生高、植生乾燥重、林床要素の占有率(6)とした。植被率は、植生高1.5m未満の植物が地面を被覆する割合を記録した。最大植生高については斜面方向に1m×10mのライン調査地を設置し、ラインの左右1m×50cmの区画毎に植生高の最も高い個体の高さを記録した。

### III 結果と考察

**1. 林内相対照度** スギ林、ヒノキ林ともに、材積間伐率 20%以上において、間伐後 1 年目の林内相対照度が間伐前より大きく増加した(表-3, 4)。ヒノキ林については、材積間伐率 30%以上の林分において、林内相対照度が材積間伐率 30%未満の林分と比較して、間伐後 3 年目まで高い値で推移した(表-4)。

**2. 植被率** スギ林の植被率は、材積間伐率に関わらず間伐後 4 年目には 70%以上に達した(表-5)。ただし、材積間伐率 30%以上においては、フジ、アマチャヅルなどの特定の下層植生が優占した林分が見られた。ヒノキ林の植被率は、間伐後 4 年目において、材積間伐率 25%以上 30%未満では 48%、材積間伐率 30%以上では 90%であり、材積間伐率が高いほど間伐後の植被率が高くなる傾向が見られた(表-6)。ヒノキ林は、林齢 40 年頃の間伐により、低木層上の相対照度が 2%以下から 1~6%に増えるだけで下層植物群落の被度が増加することが示されているが(4)、本調査から植被率を確実に増加させるためには、材積間伐率 25%以上の間伐が適当であることが示唆された。

**3. 最大植生高** 下層植生については、一部シカまたはカモシカによる食害が見られたが、スギ林は材積間伐率によらず、間伐後 4 年目の最大植生高が 40 cm以上となり、間伐前の植被率が高い林分ほど、間伐後の最大植生高が高い傾向が見られた(図-1 (a))。ヒノキ林の最大植生高は、間伐後 4 年目において、材積間伐率 30%以上の林分で最も高かった(図-1 (b))。林齢 40 年のヒノキ人工林において間伐を行った場合、材積間伐率が高いほど低木層上の相対照度及び下層植物群落高が高くなるとの推定があるが(5)、本調査でも同様の結果となった(図-1 (b))。

**4. 植生乾燥重** 間伐後 4 年目の植生乾燥重は、スギ林、ヒノキ林ともに間伐前の植被率が高い林分において大きい傾向が見られた(図-2 (a), (b))。ヒノキ林については、材積間伐率 30%以上の林分と材積間伐率 30%未満の林分とでは植生乾燥重に差が見られた(図-2 (b))。下層植生乾燥重の増加は浸透能の低下を抑制することから(9)、ヒノキ過密林分の間伐においては、間伐時の材積間伐率を上げることで、間伐後の下層植生が衰退する前に再間伐を行うことなどが必要であると考えられた。

**5. 林床要素の占有率** スギ林は、材積間伐率に関わらず間伐後の林床植生が増加傾向であり、林床被覆率(林床植生と堆積リターの合計、(6))は、間伐後 4 年目には全ての林分において約 80%に達した(図-3 (a))。ヒノキ林の林床被覆率は、スギ林と比較して低く、間伐後 4

年目において 50~80%程度であった(図-3 (b))。ヒノキ林は特に傾斜地において、細片化した鱗片葉が落下雨滴や地表流により容易に移動するため、A<sub>0</sub>層被覆が失われ、裸地化が進む(2)。林床被覆率が高い林分は表面流の抑制(7)に寄与することから、ヒノキ林においては、斜面傾斜によっては筋工(8)などにより表土移動を抑制し、林床被覆率を高く保つ必要があると考えられた。また、林床被覆率の回復には、林床植生の回復が不可欠であるが(6)、ヒノキ林において林床植生の回復が見られた林分は、材積間伐率 30%以上もしくは間伐前の植被率が高い林分であった(図-3 (b))。このことから、ヒノキ過密林分において林床植生を回復させるためには、材積間伐率を上げた間伐について検討する必要があると考えられた。

### IV おわりに

本調査から、過密人工林において、間伐後の光環境を維持し、下層植生を回復させるために必要な材積間伐率は、スギ林で 25%~30%程度、ヒノキ林で 30%~35%程度であることが示唆された。本結果は事例調査に過ぎず、間伐にあたっては、林齢、施業履歴、気象害リスク等を考慮して間伐方法を検討する必要がある。今後も選木方法の検討及びモニタリング調査について継続する。

**謝辞:** 本研究では、群馬県内の森林組合及び森林所有者、群馬県庁環境森林部職員にご協力いただいた。また、調査にあたり(国研)森林研究・整備機構森林総合研究所から助言を賜った。厚く御礼申し上げる。

### 引用文献

- (1) 赤井龍男・吉村健次郎・真鍋逸平・有光一登・相場芳憲・杉浦孝蔵(1981) 人工降雨によるヒノキ林内の落葉、土壌等の流出移動について (II) -下層植生の成立状態の異なる若齢林分のリター表層土の移動量-。日林論 92: 213-214
- (2) 服部重昭・阿部敏夫・小林忠一・玉井幸治(1992) 林床被覆がヒノキ人工林の侵食防止に及ぼす影響。森林総研研報 362: 1-34
- (3) 飯田玲奈・中山ちさ(2019) 「ぐんま緑の県民税」の間伐効果検証-スギ人工林及びヒノキ人工林における間伐後 4 年間の下層植生及び林床被覆率の推移-。群馬県林試研報 23: 33-41
- (4) 清野嘉之(1988) ヒノキ人工林の下層植物群落の被度・種数の動態に影響を及ぼす要因の解析。日林誌 70: 455-460
- (5) 清野嘉之(1990) ヒノキ人工林における下層植物群

落の動態と制御に関する研究. 森林総研研報 359: 1-122  
 (6) 三浦覚 (2000) 表層土壌における雨滴侵食保護の視点からみた林床被覆の定義とこれに基づく林床被覆率の実態評価. 日林誌 82: 132-140  
 (7) 宮田秀介・恩田裕一・五味高志・水垣滋・浅井宏紀・平野智章・福山泰治郎・小杉賢一朗・Roy C. Sidle・寺嶋智巳・平松晋也 (2009) 森林斜面におけるホートン型表面流の発生に影響を与える要因. 日林誌 91: 398-407  
 (8) 島田博匡・沼本晋也・野々田稔郎 (2020) スギ・ヒノキ人工林における林床被覆と間伐木を利用した筋工が表土移動に及ぼす影響. 日緑工誌 46: 63-68  
 (9) 湯川典子・恩田裕一 (1995) ヒノキ林において下層植生が土壌の浸透能に及ぼす影響 (I) 散水型浸透計による野外実験. 日林誌 77: 224-231

表-1. スギ林における調査地の概要

Table 1 Outline of study plots in Japanese cedar stands

No.	所在地	標高 (m)	斜面方位	林齢	本数密度 (本/ha)	胸高直径 (cm)	上層樹高 (m)	形状比	相対幹距比 (%)	本数間伐率 (%)	材積間伐率 (%)
1	中之条町	840	SW	50	1,125	27	22	83	14	33	20
2	高崎市	800	SE	53	1,300	28	24	89	12	31	15
3	高崎市	815	SW	53	1,475	26	23	89	11	41	26
4	高崎市	845	SW	50	1,700	25	22	90	11	41	27
5	榛東村	940	SW	52	1,825	24	20	84	12	34	21
6	榛東村	780	SW	55	1,325	26	20	81	13	36	29
7	榛東村	770	SW	55	1,875	23	20	88	12	40	27
8	南牧村	625	N	66	700	31	28	94	13	21	8
9	みどり市	770	NW	67	650	35	22	64	18	23	27
10	みどり市	880	SW	48	1,250	31	24	78	12	30	27
11	渋川市	665	SE	44	1,650	26	22	90	11	46	26
12	渋川市	660	SE	44	1,550	25	23	96	11	44	29
13	渋川市	655	SE	44	1,675	26	22	89	11	45	33
14	安中市	600	SW	45	1,525	24	21	89	12	33	25
15	安中市	600	SW	45	1,675	23	21	89	12	43	28
16	安中市	590	SW	45	1,850	22	22	94	11	55	32
17	安中市	655	SW	63	1,250	30	25	85	11	50	33

表-2. ヒノキ林調査地の概要

Table 2 Outline of study plots in Japanese cypress stands

No.	所在地	標高 (m)	斜面方位	林齢	本数密度 (本/ha)	胸高直径 (cm)	上層樹高 (m)	形状比	相対幹距比 (%)	本数間伐率 (%)	材積間伐率 (%)
1	中之条町	870	SW	34,50	1,375	24	21	88	13	24	20
2	中之条町	890	SE	34,50	1,725	22	23	102	11	38	28
3	榛東村	960	SE	52	2,225	21	20	95	11	34	20
4	藤岡市	285	SE	35	1,525	20	16	81	16	30	17
5	みどり市	880	W	94	675	41	26	67	15	15	5
6	渋川市	695	NE	44	2,050	20	18	91	13	51	37
7	渋川市	680	NE	44	1,950	21	18	89	13	42	27

表-3. スギ林の林内相対照度

Table 3 Relative light intensity in Japanese cedar stands

材積間伐率 (%)	間伐前	間伐後 1年目	間伐後 2年目	間伐後 3年目	間伐後 4年目
0-20未満	6.0	6.2	14.7	6.2	4.2
20-25未満	4.9	9.2	12.0	13.7	4.9
25-30未満	3.8	13.9	13.9	11.7	10.5
30以上	4.1	16.2	13.8	13.8	12.0
25-30未満*	5.9	23.8	10.5	18.8	10.9
30以上*	7.2	19.6	9.4	17.1	8.3

\*間伐前の植被率が 70%以上あった林分

\*Understory vegetation cover rate before thinning is over 70%

表-4. ヒノキ林の林内相対照度

Table 4 Relative light intensity in Japanese cypress stands

材積間伐率 (%)	間伐前	間伐後 1年目	間伐後 2年目	間伐後 3年目	間伐後 4年目
0-20未満	2.7	1.8	2.4	5.2	4.6
20-25未満	3.2	6.8	4.8	6.0	2.0
25-30未満	2.1	8.8	5.2	3.9	2.5
30以上	1.4	8.7	6.9	6.9	3.9
0-20*未満	3.0	6.1	5.2	3.0	5.4

\*間伐前の植被率が 60%以上あった林分

\*Understory vegetation cover rate before thinning is over 60%

表-5. スギ林の植被率

Table 5 Understory vegetation cover rate in Japanese cedar stands

材積間伐率 (%)	間伐前	間伐後 1年目	間伐後 2年目	間伐後 3年目	間伐後 4年目
0-20未満	20	45	40	45	70
20-25未満	33	35	45	65	70
25-30未満	26	39	50	69	76
30以上	10	25	55	70	80
25~30未満*	83	75	95	93	90
30以上*	73	73	93	93	90

\*間伐前の植被率が 70%以上あった林分

\*Understory vegetation cover rate before thinning is over 70%

表-6. ヒノキ林の植被率

Table 6 Understory vegetation cover rate in Japanese cypress stands

材積間伐率 (%)	間伐前	間伐後 1年目	間伐後 2年目	間伐後 3年目	間伐後 4年目
0-20未満	10	10	25	30	20
20-25未満	3	8	8	18	20
25-30未満	5	10	28	45	48
30以上	5	30	65	80	90
0-20*未満	60	75	65	80	65

\*間伐前の植被率が 60%以上あった林分

\*Understory vegetation cover rate before thinning is over 60%

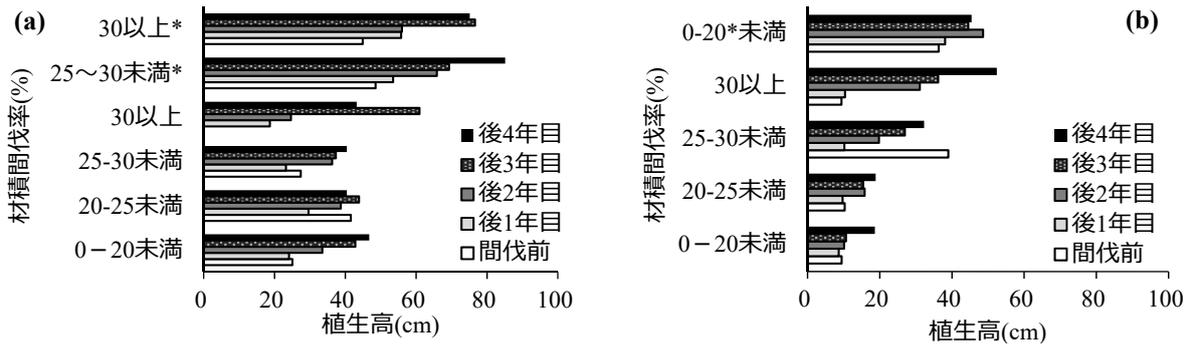


図-1. 最大植生高 (a)スギ (b)ヒノキ

Fig. 1 Maximum height of understory vegetation (a) Japanese cedar (b) Japanese cypress

\*間伐前の植被率が高かった林分 (スギ:70%以上, ヒノキ:60%以上)

\*Understory vegetation cover rate before thinning is over 70% in Japanese cedar stands and over 60% in cypress stand

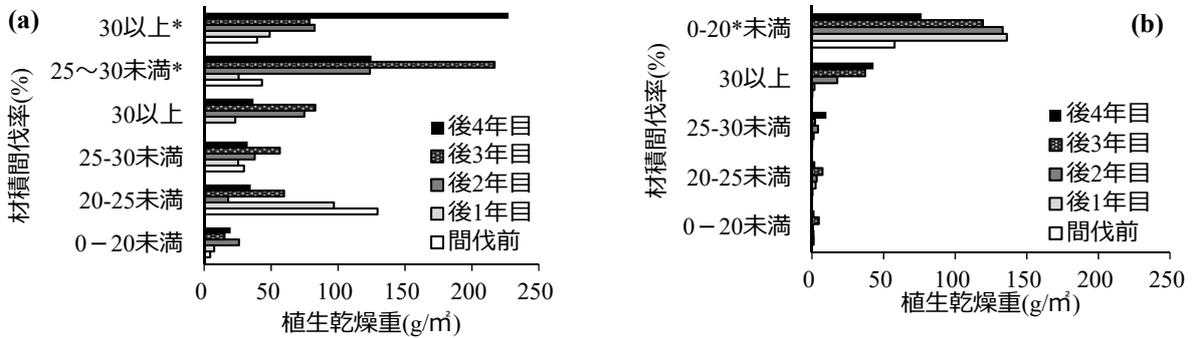


図-2. 植生乾燥重 (a)スギ (b)ヒノキ

Fig. 2 Dry weight of understory vegetation (a) Japanese cedar (b) Japanese cypress

\*間伐前の植被率が高かった林分 (スギ:70%以上, ヒノキ:60%以上)

\*Understory vegetation cover rate before thinning is over 70% in Japanese cedar stands and over 60% in cypress stand

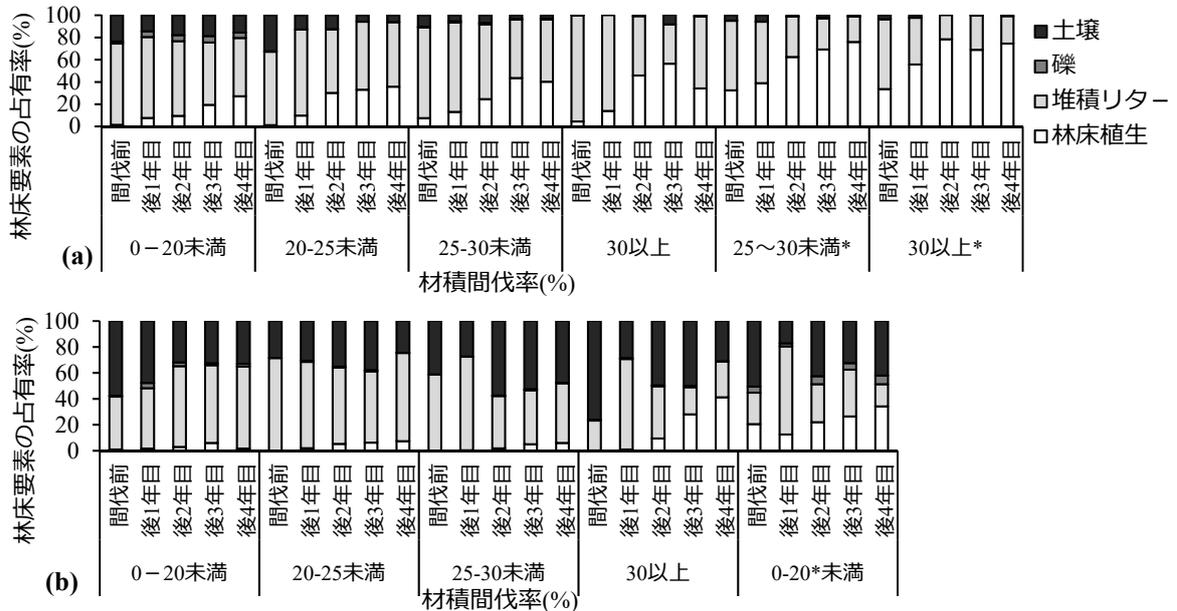


図-3. 林床要素の占有率 (a)スギ (b)ヒノキ

Fig. 3 Percentage of floor element (a) Japanese cedar (b) Japanese cypress

\*間伐前の植被率が高かった林分 (スギ:70%以上, ヒノキ:60%以上)

\*Understory vegetation cover rate before thinning is over 70% in Japanese cedar stands and over 60% in cypress stand

## 南関東・東海地方スギ人工林林分密度管理図の検証と改訂の試み

細田和男<sup>1</sup>・西園朋広<sup>1</sup>・北原文章<sup>1</sup>・笹川裕史<sup>2</sup>・古田朝子<sup>2</sup><sup>1</sup>森林総合研究所・<sup>2</sup>日本森林技術協会

**要旨**：2003年以降に取得された新たなデータによって林分密度管理図の改訂を試みた結果、現行よりもバイアスの少ない収量密度効果の逆数式が得られた。また最多密度曲線の傾きは現行の傾きよりも-3/2に近くなった。しかし、幹材積が誤差20%以内で推定できた箇所は全体の67%にとどまり、都県単位などよりきめ細かな地域区分での作成も検討の余地があると思われた。

**キーワード**：スギ、林分密度管理図、収量密度効果の逆数式、最多密度曲線

## Verification and revising of the Sugi stand density control diagram in Minami-Kanto and Tokai region

Kazuo HOSODA<sup>1</sup>, Tomohiro NISHIZONO<sup>1</sup>, Fumiaki KITAHARA<sup>1</sup>, Hiroshi SASAKAWA<sup>2</sup>, Tomoko FURUTA<sup>2</sup><sup>1</sup>Forestry and Forest Products Research Institute, <sup>2</sup>Japan Forest Technology Association

**Abstract**: We attempted to revise the stand density control diagram using new data acquired since 2003. As a result, we obtained a reciprocal formula of yield-density effect with less bias than the current one. In addition, full density curve with a slope close to -3/2 was estimated. However, only 67% of the sites were able to estimate stand volume with an error of less than 20%. There seemed to be an option to create a more detailed regional classification, such as by prefecture.

**Keywords**: *Cryptomeria japonica*, Stand density control diagram, Reciprocal equations of yield-density effect, Full density curve

## I はじめに

林分密度管理図（以下、密度管理図と略す）とは、同種同齢の植物個体群における密度効果の法則や、自然間引と最多密度の法則などを基礎として、同齢単純林の ha あたり本数、ha あたり幹材積、上層樹高、平均胸高直径、収量比数 (Ry) の相互関係を表したグラフである。本来の用途である間伐の設計や収穫量の予測に加えて、Ry は風害や冠雪害に対する安全性の目安にも用いられる。密度管理図には林齢が含まれないが、別に樹高成長曲線(地位指数曲線)を用いて林齢を上層樹高に置き換え、植栽本数と間伐シナリオを設定することで収穫予想表を作成することができる。またシナリオを変えることで簡単なシステム収穫表としても機能する。さらに、上層樹高と ha あたり本数から ha あたり幹材積が推定できるので、上空からのリモートセンシングで森林資源量を推定するのにも応用できる。

現行の民有林用密度管理図は全国をスギ7地域、ヒノキ4地域、カラマツ2地域、アカマツ4地域、広葉樹5地域などに分け、1978~1987年度に林野庁の委託を受けた日本林業技術協会(当時)が作成したものである。以来今日まで広く用いられてきたが、よりきめ細かな地域別に作成すべきとの考えや、最多密度曲線を超える高密度林分の存在(2)から、見直しの必要性も示唆されてき

た。2003年に鹿児島県林業試験場(当時)の長濱孝行氏が、鹿児島県のスギを対象とする新たな密度管理図(4)を作成したのを皮切りに、2019年までに鹿児島県ヒノキ、長崎県ヒノキ、福岡県スギ、大分県スギ、大分県ヒノキ、富山県タテヤマスギの新たな密度管理図が公表された。しかし全国的な見直しが進んでいるとはいえない。この理由として、新たに多数のデータを収集することが困難であることや、密度管理図の作成手順が複雑であることが考えられる。ここでは、第4期森林生態系多様性基礎調査等の比較的新しいデータを用い、1981年に公表された南関東・東海地方スギ人工林林分密度管理図(5)の検証と改訂を試みたので、一例として報告する。

本研究は林野庁による「令和5年度森林情報の高度化推進に向けた手法検討に関する調査委託事業」の一部として実施したものである。

## II 材料と方法

1. データ 以下4種類の既存の林分データを用いた。  
①『森林経営』対象森林率調査は林野庁が林齢50年生以上を対象に2014~2017年度に実施したもので、標準地は0.2 haまたは0.1 haであった。②第4期「森林生態系多様性基礎調査」は林野庁が2014~2018年度に実施したものである。本研究では0.1 haの円形標準地のう

ち人工林が 0.04 ha 以上を占める箇所限定して、人工林部分だけのデータを使用した。③林野庁の依頼による「都道府県提供データ」は、おおむね 2008 年度以降に都道府県がそれぞれの目的で独自に実施したものである。④「森林簿の蓄積精度検証調査」は林野庁の補助事業として 2003～2005 年度に都道府県が実施したもので、標準地面積は可変（立木が 50 本以上）であった。

①～④のデータから、南関東・東海地方スギ林分密度管理図の範囲である茨城、千葉、東京、神奈川、静岡、愛知、三重の各都県の民有のスギ人工林を抽出した。さらにここから、全樹種の胸高断面積合計の 95% 以上をスギが占める 699 か所について、スギだけを抽出して集計した。

**2. データの選別** まず、上層樹高が 5 m 未満の箇所は未閉鎖とみなして除外した。5 m という下限値は既存の密度管理図と同じである。また二段林状の林分も除外した。本報告では断面積平均直径（林分の胸高断面積合計÷本数を直径に換算した値）が平均胸高直径の 1.1 倍を超える箇所を二段林状とみなした。除外されなかった箇所を、上層樹高 2 m 区切り、ha あたり本数 200 本区切りでクロス集計し、1 つの階級内の箇所数が 11 以上の階級は、10 になるよう減数調整した。これは推定結果が特定の階級に偏らないようにするためで、上限 10 か所は既存の密度管理図と同じである。減数調整の際、上記①～④の資料は、①に近いものほど新しく、標準地面積が大きくてデータの信頼性が高いと考えて残し、④に近く標準地面積が小さい箇所から先に除外した。また、データ全体の都県別割合が、民有スギ人工林面積の都県別割合と大きく乖離しないように考慮した。以上のように整理した 585 か所について、林分形状高（幹材積合計÷胸高断面積合計）、平均胸高直径、平均樹高および平均単木材積をそれぞれ他の林分構成因子から推定する数式をあてはめ、4 つの式のいずれかで推定誤差が有意に大きい 26 か所は異常値として棄却した。

**3. 林分密度管理図の作成** 整理した 559 か所について、長濱 (4) による詳細な説明を参考に、密度管理図を構成する様々な数式のあてはめを行った。すべての基礎となる収量密度効果の逆数式については、以下の 3 つの方法を用いて推定し、比較検討を行った。①長濱 (4) と同様に、最多密度曲線の傾きに前提を置かず、データに最もよく当てはまるように推定する方法。②現行の密度管理図 (5) と同様に、最多密度曲線の傾きを安藤 (1) がスギ共通の値として示した -1.9184 に合わせる方法。③二分の三乗則に従って最多密度曲線の傾きを -3/2 に合わせる方法。③は現行の民有林用の広葉樹密度管理図に用

いられている。なお、①～③以外に、データの中から最も密度が高いと思われる 2 か所を任意に選んで最多密度曲線の傾きを定める方法 (3) もある。しかし前述の通り、本研究では様々な時期にそれぞれの調査要領に基づいて取得したデータが混在しており、現地を見ていない著者がこの中から 2 か所を適切に選び出すことは難しいため、本研究では採用しなかった。各種曲線のあてはめにおいて必要な非線形最小二乗法は、統計解析ソフトウェア R バージョン 4.3.1 の nlm 関数、重みつき Levenberg-Marquardt 法は R の minpack.lm パッケージに含まれる nlsLM 関数で実行した。

### III 結果と考察

**1. 現行の密度管理図の検証** 本研究のデータの ha あたり本数と ha あたり実測幹材積（毎木調査による単木材積の合計を ha 換算した値）との関係を、現行の密度管理図の最多密度曲線とともに図-1 に示した。近藤 (2) などの指摘の通り、最多密度曲線を上回る箇所の存在が認められた。

また、現行の密度管理図で上層樹高と本数から推定した幹材積（推定幹材積）と、実測幹材積を比較すると（図-2）、およそ 100 m<sup>3</sup>/ha までは密度管理図のほうが過大推定で、400 m<sup>3</sup>/ha 以上では逆に過小推定になっている傾向があった。本研究のデータの多くは上層樹高 5～39 m、本数 200～3800 本/ha の広い範囲に分布する。これに対し、現行の密度管理図の作成に用いられたデータの多くは 7～27 m、400～3400 本/ha の範囲にとどまっており、これらデータから作成された既存の推定式は今日の現実林分に対する説明力が十分ではないことが分かった。

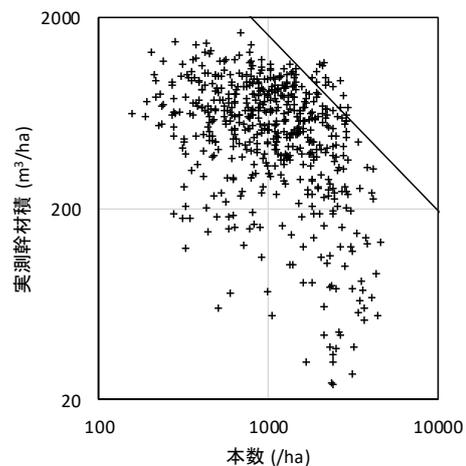


図-1. 本数 /ha と実測幹材積 /ha との関係

Fig.1 Relationship between number of stems and stand volume

注) 右下がりの斜線は現行の最多密度曲線

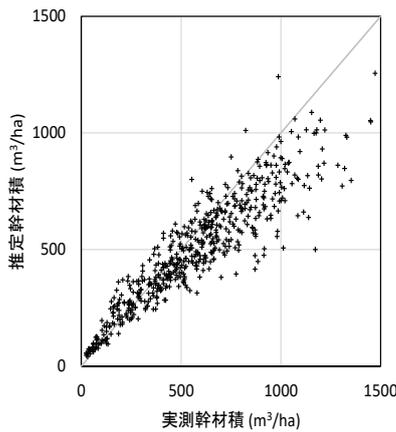


図-2. 実測幹材積と現行管理図による推定幹材積との関係

Fig.2 Relationship between actual and estimated stand volume

2. 収量密度効果の逆数式の修正 次式で表される収量密度効果の逆数式の係数を前述の方法①～③で求め、

$$V = (b_1 Ht^{b_2} + b_3 Ht^{b_4}/N)^{-1}$$

それぞれの密度効果の逆数式による推定精度を、現行の係数による推定精度とともに比較した。

ここで  $V$ : 幹材積 (m³/ha),  $Ht$ : 上層樹高 (m),  $N$ : 本数 (ha),  $b_1 \sim b_4$  は係数である。

前述の通り、現行の逆数式は幹材積が少ない領域で過大、逆に幹材積が大きい領域で過小推定になるが、本研究では方法①～③ともにこの傾向が是正された (図-3)。方法①～③の間の精度の差異は全体としては大きくないが、200 m³/ha 未満では方法②よりも、方法①や方法③の精度が高かった。実測幹材積が絶対誤差率 20%以内で推定できた箇所の割合を比較すると (図-4)、特に 800 m³/ha 以上で現行の推定式よりも大きく改善した。方法①において、絶対誤差率が 20%以内の箇所の割合は全体の 67% であった。現行の密度管理図は作成当時のデータに対して、全体の 8 割の林分の幹材積が誤差 20%以内で推定できたとされており、本研究はこれに及ばない結果であった。この原因としては、間伐の有無や高齢級化に伴って林分構造の多様化が進んでいることも考えられる。本研究の地域区分は現行の地域区分を踏襲したが、より高い推定精度を求めるならば、都県単位などよりきめ細かな地域区分での作成も検討の余地がある。

3. 最多密度曲線の修正 最多密度曲線を定めるには、上記の収量密度効果の逆数式とともに、限界競争比数が必要である。限界競争比数とは、孤立木のように競争のない立木の単木材積を 1 として、自己間引が起こるほど

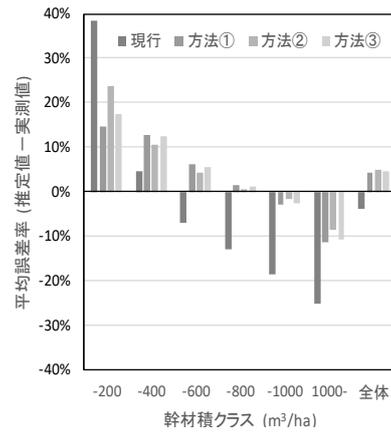


図-3. 実測幹材積クラス別の平均誤差率の比較

Fig.3 Comparison of average percent error by stand volume classes

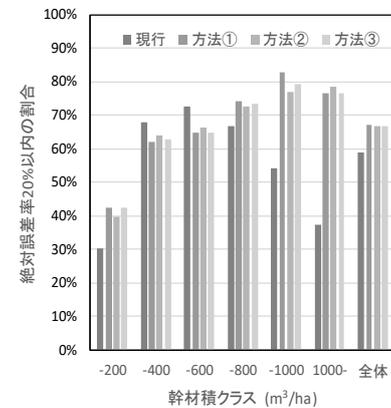


図-4. 絶対誤差率 20%以内の割合の比較

Fig.4 Percentage of sites with absolute error of 20% or under

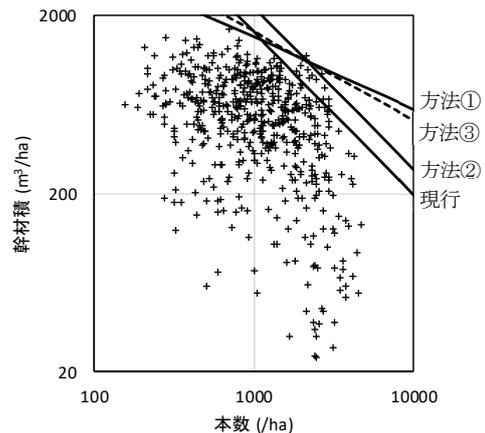


図-5. 最多密度曲線の比較

Fig.5 Comparison of full density curves

の競争状態に置かれた立木の単木材積の割合である。データから得られた限界競争比数(競争比数の最小値)は、収量密度効果の逆数式を方法①で求めた場合 0.252, 方法

②で0.285, 方法③で0.259であり, いずれも現行密度管理図の限界競争比数0.154よりも明らかに大きかった。

これらの限界競争比数と収量密度効果の逆数式で最多密度曲線を作成すると, 方法①すなわち傾きに前提を置かない場合, 現行よりも傾きの絶対値が小さく, 二分の三乗則を仮定した方法③に近くなった(図-5)。方法②では傾きは現行と同じで, 切片を変えて本研究のデータをカバーするように推定されている。1000本/ha以下の領域においても実測幹材積は1700m<sup>3</sup>/ha程度が上限となっている実態は, 方法②よりも方法①や方法③の最多密度曲線のほうがよく表しているように見受けられる。

**4. 算出される収量比数の差違** 本報告で試作した最多密度曲線や限界競争比数は, ①~③のいずれの方法でも既存のものとは異なるため, 同一の林分に対して収量比数を計算すると現行と異なった値になる(図-6)。方法①~③のいずれの場合も, ほぼ全ての箇所は現行よりも収量比数が小さくなった。方法①および③の場合, 現行のRy 0.8は修正案ではRy 0.8~0.4, 現行のRy 0.6は修正案ではRy 0.6~0.2となった。方法②は新旧の収量比数の対応関係が一つの曲線上に集中していた。これは最多密度曲線の傾きが現行と同じで切片だけが異なるためと考えられる。いずれにしても新旧のRyは大きく異なるため, 仮に改訂案を実際に適用する場合には, 過去に実施した間伐との整合性を考慮して, 間伐の基準となるRyを読み替えるなど, 運用方法も含めて検討が必要になると考えられる。

#### IV まとめ

2003年以降に取得された新たなデータによって密度管理図の改訂を試みた結果, 最多密度曲線の傾きに制約を設けない場合, 現行よりもバイアスの少ない収量密度効果の逆数式が得られた。また現行よりも傾きの絶対値が小さく, -3/2に近い最多密度曲線が推定された。しかし, 幹材積が誤差20%以内で推定できた箇所は全体の67%にとどまった。これは間伐の有無や高齢級化によって林分構造が多様化しているためとも考えられる。推定精度を上げるためには, 都県単位などよりきめ細かな地域区分での作成も検討の余地があると思われた。

今後は今回報告しなかった他の6地域のスギ密度管理図についても網羅的に精査し, 収量密度効果の逆数式ほか各種曲線の係数も含め, 改めて報告する予定である。

#### 引用文献

(1) 安藤貴 (1968) 同齢単純林の密度管理に関する生態学的研究. 林試研報 210: 1-153

(2) 近藤洋史 (2000) 九州地方における収穫試験地データと最多密度曲線との関係解析. 日林九支研論 53: 31-32

(3) 真辺昭 (1982) トドマツ人工林の収穫量と収益の予測システムに関する研究. 林試研報 317: 1-65

(4) 長濱孝行 (2003) 鹿児島県におけるスギ人工林林分密度管理図の調製. 鹿児島県林試研報 8: 1-11

(5) 林野庁 (1981) スギ人工林林分密度管理図説明書—南関東・東海地方—. 林野庁, 東京: 28pp

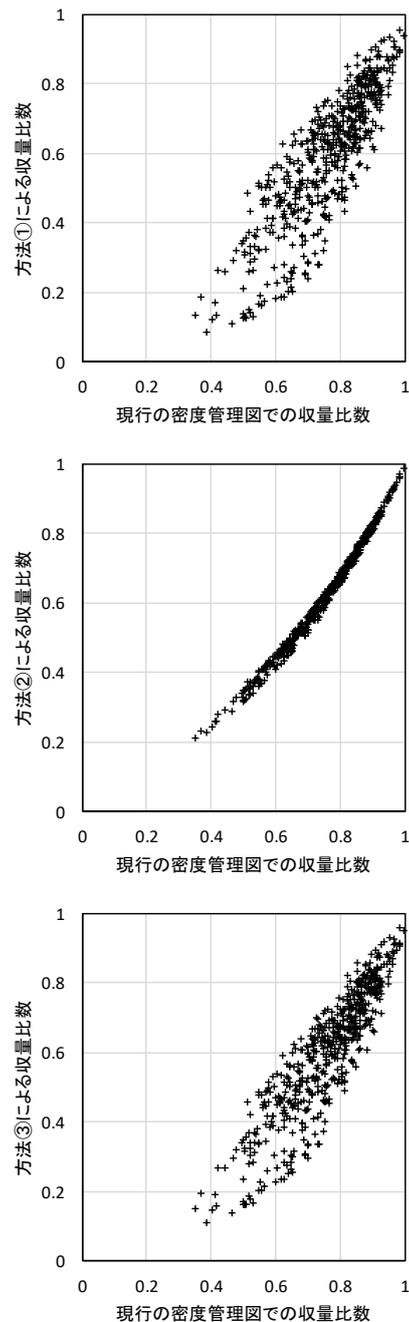


図-6. 現行と修正案の収量比数の比較  
Fig.6 Comparison of relative yield between current and proposed stand density control diagrams

## 石垣島における早生樹 2 樹種の若齢木に対する虫害等の被害状況について

竹中浩一<sup>\*1</sup><sup>\*1</sup>国際農研センター

**要旨:** 石垣島の試験圃場 (面積 450 m<sup>2</sup>) に 2 種の早生樹, センダン (*Melia azedarach* L.) とウラジロエノキ (*Trema orientalis* (L.) Blume) 各 40 本を 2022 年 2 月に植栽した。植栽後より新梢, 成葉, 樹幹上に複数の虫害発生が確認され, ウラジロエノキには葉に対し 5 種類 (鱗翅目 3 種, 半翅目 2 種) の昆虫による被害が確認されたが早期の薬剤散布により被害は軽減された。一方, センダンには 7 種類 (鱗翅目 3 種, 半翅目 1 種, 直翅目 1 種, 鞘翅目 1 種, 軟体動物門有肺目 1 種) の昆虫等の発生が確認され, 複数部位への多種断続的食害のため生長と幹材の形質劣化への影響が懸念された。本試験地における両樹種の間には加害虫等の嗜好性の違いが考えられ, センダンはウラジロエノキよりも多くの脅威にさらされていた。特に生長点への食害が著しく, 今後の生長過程において樹形の変形など用材木として低価値化する可能性がある。

**キーワード:** 樹木, 害虫, 食害嗜好性

## Damage to young trees of two fast-growing tree species due to pest attack on Ishigaki Island

Koichi TAKENAKA<sup>\*1</sup><sup>\*1</sup>Japan International Research Center for Agricultural Sciences

**Abstract:** Damage from insect pests was recorded on *Trema orientalis* (L.) Blume and *Melia azedarach* L. trees on Ishigaki Island. Forty trees of each species were planted in February 2022 in the same trial plot (450 m<sup>2</sup>). Damage to the treetops, mature leaves, and trunks was observed after planting was completed. On *T. orientalis* trees, damage was caused only to the leaves by five insect pests (three lepidopteran and two hemipteran species), and early treatment mitigated the damage. However, on *M. azedarach* trees, damage caused by seven pests (three lepidopteran, one hemipteran, one orthopteran, one coleopteran, and one molluscan (Pulmonata) species) was observed on multiple organs; the depression of tree growth and/or deterioration of wood quality resulting from the continuous feeding damage from multiple pests was of concern. Differences in the feeding preferences of the insect pests on the two tree species at the study site were indicated, which posed a greater threat to *M. azedarach* than to *T. orientalis*. In particular, *M. azedarach* was subject to marked damage to the growing points, which may cause deformation of the canopy shape and reduction in timber value at subsequent developmental stages.

**Keywords:** tree, insect pests, feeding preference

## I はじめに

日本林業は 2002 年以降木材自給率の上昇傾向にあるなかで, 伐採後の再造林と長期の育林に伴う高経費化, 近年頻発する極端気象災害による高リスク化等を勘案し, 短期に利用が見込まれる早生樹にも着目するようになった(9)。とりわけ九州・沖縄地域では, センダン (*Melia azedarach* L.) やウラジロエノキ (*Trema orientalis* (L.) Blume.) などの早生樹を導入し従来に比べて早期の木材利用とその拡大に期待が高まっている(1,6)。しかしながら, これら早生樹の利用もまた, 家具材や建築用材など用材生産が主目的となっていることから, 木材の規格均一性及び均質性の確保が重要となる。よって人工造林の観点から, 短期間といえども病虫害管理は最も留意すべ

き点といえよう。樹木病虫害の発生について, 特定の樹種と加害虫等との被害事例は多く見られる。例えば, センダンに対し長崎においてチャノキイロアザミウマの寄主植物となった事例(3)のほか, ゴマダラカミキリ類による穿孔性被害の事例(2,5)では, 甚大な材価値低下の可能性が報告された。ウラジロエノキについては, 日本国内外における病原菌の感染例のほか, コウモリガやトラカミキリ類による材被害が報告されているが, 軽微かつ制御可能な害虫であるとされている(7)。一方, 多種の昆虫等による連続的な被害についての先行研究は両樹種において極めて稀である。沖縄県における早生樹造林の対象樹種でもあるセンダンとウラジロエノキに対して, 複数の害虫被害の発生が既に確認されている。さらに, 今後

変動を繰り返しながらも国内の気温は上昇傾向にあるといわれるなか、過去多くの害虫が他地域から移入してきたことも考慮すれば、熱帯昆虫によるさらなる被害が発生する可能性は十分考えられる。

本稿では、沖縄県石垣島産の早生樹としてセンダン及びウラジロエノキを同一圃場に植栽した際に発生した複数の昆虫等による被害と両樹種における被害差異について観察した結果をとりまとめ、のちの早生樹造林施策における対策立案の一助とすることを目的とした。

## II 材料と方法

**1. 調査地** 本調査は、沖縄県石垣市、国際農林水産業研究センター熱帯・島嶼研究拠点に設置する試験圃場(幅 18 m×25 m, 面積 450 m<sup>2</sup>)において行った。市街地の気象は、年平均気温 24.5°C, 最低及び最高の平均気温はそれぞれ 18.9°C (1 月), 29.6°C (7 月) を示し、年平均降水量は 2096 mm (1991–2020 年, 30 年間平均値) (4)である。当センターでは亜熱帯気候の環境を利用し、前記 2 樹種各 40 本を 2022 年 2 月に植栽した。試験地は、幅 2.0 m×長 2.4 m×深 0.9 m のコンクリート製枠内へ現地土壌である国頭マージを充填し、枠内に苗木 4 本を 1 m 間隔で植栽した低栄養土壌における樹木生長観察地であり、いずれの個体も幹曲りを抑制する芽かき処理はせず、2 樹種は一列ずつ隣接し 4 列に配置されている。

**2. 植栽木の計測と被害観察** 本試験地では、植栽後の 2022 年 3 月から 2023 年 9 月末まで概ね 30 日毎に合計 21 回の個体計測(根元直径,  $D_0$  及び樹高,  $H$ )を行った。ウラジロエノキ及びセンダンの供試苗は、石垣島に生育する個体から採種し、底径 80 mm, 上径 110 mm, 高さ 230 mm の黒色プラスチックポット内に主要土壌である国頭マージを充填し発芽させた 1 年生実生苗である。植栽前日の供試木(平均値±標準誤差)は、ウラジロエノキ,  $D_0$ : 4.7 ± 0.1 mm,  $H$ : 30.2 ± 0.9 cm, センダン,  $D_0$ : 5.8 ± 0.2 mm,  $H$ : 60.0 ± 1.8 cm であった。また、毎回同日に、植栽木毎に見られる特筆すべき状態を記録し、その画像を撮影した。植栽木に対し、昆虫等の「取り付き」あるいは明らかに被害が認められた場合は、昆虫等の種類判別、また可能な場合は種の同定を行った。対策として薬剤を使用した場合には薬剤種と散布対象を併せて記録した。以上より、季節毎、昆虫等の種毎の被害発生状況を期間を通じて整理した。また、2023 年 7 月頃、植栽木の大半の樹高が 1.2 m を越えたため、各個体の計測項目に胸高直径(以下,  $DBH$ )を追加し、2023 年 7 月と 10 月のみ  $DBH$ , 生枝下高, 分岐した枝の数を記録した。 $D_0$ ,  $H$ , 及び  $DBH$  の各値は 3 ヶ月を一期間とした生長差から

相対成長速度を次式により求めた。また、両樹種二群間の差の検定を Welch の方法により行った ( $\alpha = 0.05$ )。

$$RGR_{(D_0)} = \log(D_{0(t_2)} - D_{0(t_1)}) / (t_2 - t_1)$$

$$RGR_{(H)} = \log(H_{(t_2)} - H_{(t_1)}) / (t_2 - t_1)$$

$$RGR_{(DBH)} = \log(DBH_{(t_2)} - DBH_{(t_1)}) / (t_2 - t_1)$$

ここで,  $D_{0(t_1)}, D_{0(t_2)}$ : 測定日  $t_1, t_2$  時の平均根元直径,  $H_{(t_1)}, H_{(t_2)}$ : 測定日  $t_1, t_2$  時の平均樹高,  $DBH_{(t_1)}, DBH_{(t_2)}$ : 測定日  $t_1, t_2$  時の平均胸高直径,  $t_1$ : 測定日 1,  $t_2$ : 測定日 2。

## III 結果と考察

**1. 昆虫等の発生による被害** 確認された害虫等の種類を表-1 に、両樹種への月別害虫被害確認数を図-1 に示す。石垣島では 5 月頃に気温上昇並びに降水量増加を伴い、ほぼ同時に複数の昆虫等の発生と一部の植栽木に食害が認められるようになった。2022 年 5 月より、センダンとウラジロエノキに共通してエダシヤク類, メイガ類, タイワンキドクガなど鱗翅目 3 種が発生し植栽木の成葉を食害した。同時期に、オキナワウスカワマイマイによるセンダン 1 個体への葉全損食害が発生した。各樹種毎の全植栽木数に対する被害確認率を月別にまとめた場合、2022 年 5 月のウラジロエノキ, センダン植栽木にそれぞれ 17.5% と 10.0% であった。被害確認後、スミチオン乳剤を全区域に、また軟体動物駆除剤スラゴをセンダンの根元に散布したところ、ガ類によるウラジロエノキへの加害は稀に見られる程度となった。一方、センダンに対するガ類による食害やマイマイの取り付きは継続的に散発し翌 6 月には 7.5% の加害が確認された。2022 年 7–8 月には新たにダイトウクダマキモドキの成虫がセンダンの新梢のみを食害したため、早急な捕殺を行い、8 月末には新たな害虫個体の発生は見られなくなったが、両月の被害確認率は 12.5% から 22.5% となった。その後、被害木は新梢の生長が停止し、食害が未確認の植栽木でも同様の「芯止まり」状態がみられた。昆虫等による加害行動をすべて目視できず被害との因果関係に言及することは困難であるが、芯止まり状態となったセンダンは、2022 年 12 月に全体の 27.5% 程度から翌年 2 月にかけて 70.0% へ増加したことは冬期における季節性の生長低下とも推測されるが、ダイトウクダマキモドキの梢端食害による生長低下への影響も否めないと考えた。その後翌年の気温上昇と共に主幹先端部から失われた新梢の代わりに側枝の発生が旺盛となり、幹の分岐化がより進行したと考えられる。ダイトウクダマキモドキが最盛の 2022 年 7 月頃、センダンの一部に別種の傷が認められた。主幹に樹液の漏出と材部の排出が見られたことから穿孔性昆虫と判断した。樹液の漏出等は、2023 年 6 月頃まで連

統的に異なる2本のセンダン個体に発生し、植栽区域内で発見された成体の鞘翅と穿孔中の幼虫形状からタイワンゴマダラカミキリと仮定した。被害確認木は計2本で月別・連続的に全体の2.5%であった。これら2本のセンダンは、台風時に穿孔部位より折損し、側枝が放射状に生じたため主幹は多分岐化した。

他方2022年12月頃から、ウラジロエノキにのみヨコバイ類が発生し、まもなくしてカイガラムシが定着するようになり、枝の先端部成葉の一部に葉の萎縮・煤状の黒変が生じた。被害確認率はヨコバイ発生時12月に10.0%、翌年1月カイガラムシが加わり15.0%と増加したが、2022年12月と翌年6月に二回、吸汁害虫に有効なオルトラン水和剤をウラジロエノキにのみ散布したところ葉の萎縮症状は一個体の一部葉のみに抑制され、被害確認率は毎月5.0%のまま残るものの他の枝葉や隣接樹木への拡散は見られず制御されたことが確認できた。

**2. 植栽木樹形の現状** 2023年10月時点、センダンは伸長と共に頻繁に落枝を生じさせ、生枝下高（同時に芯止まりが生じた部位の高さ）は $130.3 \pm 5.8$  cm（平均±標準誤差,  $n=38$ ）であり、その幹上部には植栽木あたり平均5.0本の分枝を伴っていた。さらに優勢な各分枝の上部には2乃至3回の分枝が繰り返されたことにより、主幹を失い側枝が放射状に生長する逆筈形状に変化しつつあった。一方で、ウラジロエノキの生枝下高は $49.7 \pm 3.5$  cm（平均±標準誤差,  $n=40$ ）と低い位置にあり多くの葉数と共に全植栽木が主幹に梢端を残した状態（主幹の分枝は皆無）で傘状の樹形を呈していた。これは、相対成長速度の比較において、センダンの樹高停滞が2022年の夏期（9月頃）から冬期（12月頃）に現れていることから（図-2）、夏期に害を受け生長点に影響が生じた後、翌春に側枝が生長し始め多分岐化が進行したのではないかと考えられた。さらに、DBHを計測した2023年7月上旬と同年10月中旬に2回、両樹種全てのDBH（平均値±標準誤差）から104日間の推移を比較したところ、センダンでは $32.9 \pm 1.8$  mm から  $40.7 \pm 2.2$  mm（ $n=38$ , 対前比1.2倍）へ増加したのに対し、ウラジロエノキでは $37.5 \pm 2.5$  mm から  $58.6 \pm 3.3$  mm（ $n=40$ , 対前比1.6倍）と生長率は高かった。また両樹種のDBHの相対成長速度（ $RGR_{(DBH)}$ ）を同時期に比較したところ、センダンの $0.06 \pm 0.01$  mm mm<sup>-1</sup> month<sup>-1</sup>に対してウラジロエノキは $0.15 \pm 0.02$  mm mm<sup>-1</sup> month<sup>-1</sup>と高く、有意であった（ $p < 0.001$ ）。このことは、センダンが昆虫等による複数かつ散発的な食害等を受けたことにより多分岐化した枝葉が伸長を続けつつも、十分な葉の量を失い肥大困難となったのに対し、ウラジロエノキでは新梢への障害がほぼ無

く、かつ低い位置に残る生きた枝葉により樹形を損なわず、幹直径の生長が促されたためと考えられた。

**3. クマゼミの発生** 2023年夏期、前年に比してクマゼミが大発生した。同年7月、センダン40本のうち枯死木を除く38本に対して1本あたり5-10頭のクマゼミが取り付きウラジロエノキには皆無であった。クマゼミはセンダンの幹に針口を挿入し、樹液が漏出した。その後2023年10月には幹表面への損傷は見られず、しかし、9-10月にすべてのセンダンの新葉に細葉化が見られた。セミによる樹木への被害報告は国内では見当たらないが、北米において大発生したセミによる樹木への傷つけや産卵行動により、病原菌侵入や植栽木枯損の可能性が指摘されている(8)。同じく吸汁虫であるヨコバイやカイガラムシの大量発生による植物体への影響を考慮すると、気温上昇など環境の変化に伴う新たな昆虫害が懸念される。

#### IV. まとめ

同一の圃場に隣接植栽された同齡2樹種の早生樹に対して、共通の害虫が発生した事例と樹種個別に発生した害虫の事例が見られた。両樹種とも、加害が確認された植栽木の全体に占める割合はさほど高くはなかった。ウラジロエノキへの被害は主に春期のガ類による葉への食害と秋期の吸汁害虫による被害であった。これに対して、当該地域では5月以前の薬剤処理により抑制可能であると考えられる。また、これら虫害によって樹形変形などの樹木への影響は認められなかった。一方、センダンへの被害は、春期のガ類による葉への食害は共通していたものの、本樹種のみに取り付く特定の昆虫等による生長点への食害や材への穿孔が生じ、複数の害虫が断続的に発生したことも相まってウラジロエノキに比してより高い脅威にさらされていた。本調査では、特筆すべき被害が確認されなかったもののセンダンのみに取り付いたクマゼミとその吸汁行動も併せ考えれば、昆虫等のそれぞれの樹種に対する嗜好性は異なると思われる。早生樹造林の推進においては、これらに対する薬剤等による計画的・対処的な処置が必須となることはいまでもないが、造林地としての価値を維持・向上し害虫等による被害の危険分散を行うため、多樹種混交や比較的对象害虫の少ない樹木を選択することもまた必要ではないだろうか。

**謝辞:** 本稿の執筆にあたり、長期の試験地管理・計測、重要な助言を下さいました数井宏氏に深く謝意を表します。

#### 引用文献

(1) 井口朝道・玉城雅範 (2022) 早生樹の活用に関する基

礎的技術開発事業—ウラジロエノキの生長特性と立地環境に関する研究. 沖縄県森資研セ業報 32: 25–26

(2) 池本吾吾 (2018) センダン植栽木への施肥が生長に及ぼす影響. 第129回日本森林学会大会学術講演集: 262

(3) 大久保宣雄 (1995) チャノキイロアザミウマの寄主植物とそれらにおける発生経過. 長崎果樹試験報 2: 1–15

(4) 気象庁「過去の気象データ・ダウンロード (石垣島, 1991–2020年)」, <https://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/index.php#> (2023年10月14日)

(5) 熊本県林業研究指導所 (2010) 広葉樹造林地の害虫と防除対策のしおり: 18pp

(6) 杉山真樹 (2021) 早生広葉樹の資源量及び利用とその現状. 第71日本木材学会研究要旨集. 2-08-04

(7) Plant PONO, Plant Assessment, <https://plantpono.org/high-risk-plants/trema-orientalis/> (2023.10.18)

表-1. 植栽木に発生した昆虫等の種類及び分類 (T.o 及び M.a は和名ウラジロエノキ, センダン)

Table 1 Species and classification of insect pests on the site, 'T.o' stands for *T. orientalis* and 'M.a' for *M. azedarach*.

害虫等名称, 動物分類群(目/科)	被害	
	T.o	M.a
エダシヤク類 鱗翅目 シヤクガ科	○	○
メイガ類 鱗翅目 メイガ科	○	○
タイワンキドクガ 鱗翅目 ドクガ科	○	○
ダイトウクダマキモドキ 直翅目 キリギリス科		○
ヨコバイ類 半翅目 ヨコバイ科	○	
クマゼミ 半翅目 セミ科		○
カイガラムシ類 半翅目 カイガラムシ科	○	
タイワンゴマダラカミキリ 鞘翅目 カミキリ科		○
オキナワウスカワマイマイ 有肺目 ナンマイ科		○

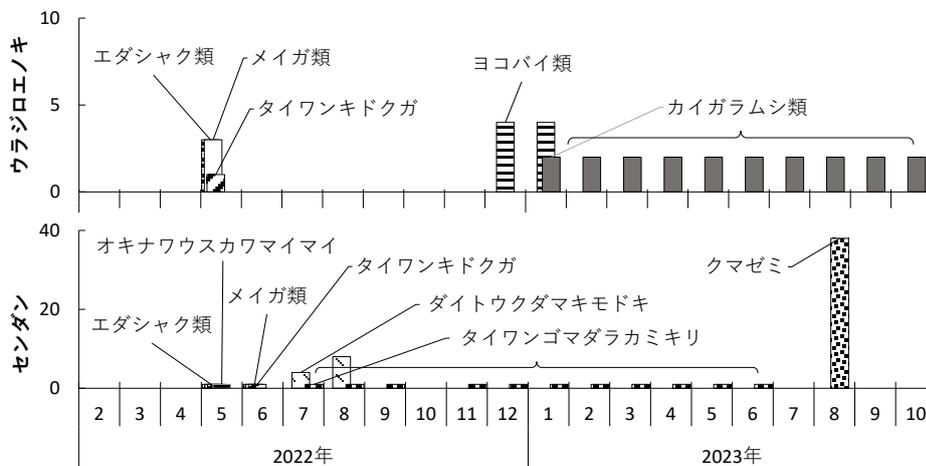


図-1. 月別の植栽木に対する害虫等による被害確認数

Fig. 1 Number of damages caused by insect pests on test trees.

(8) Raupp JM (2021) Return of Periodical Cicadas in 2021: Biology, Plant Injury and Management, TCI. <https://tci.cimag.tcia.org/tree-care/return-of-periodical-cicadas-in-2021-biology-plant-injury-and-management/> (2023年10月28日)

(9) 林野庁 (2022) 早生樹利用による森林整備手法ガイドライン (令和3年度改訂版): 45pp

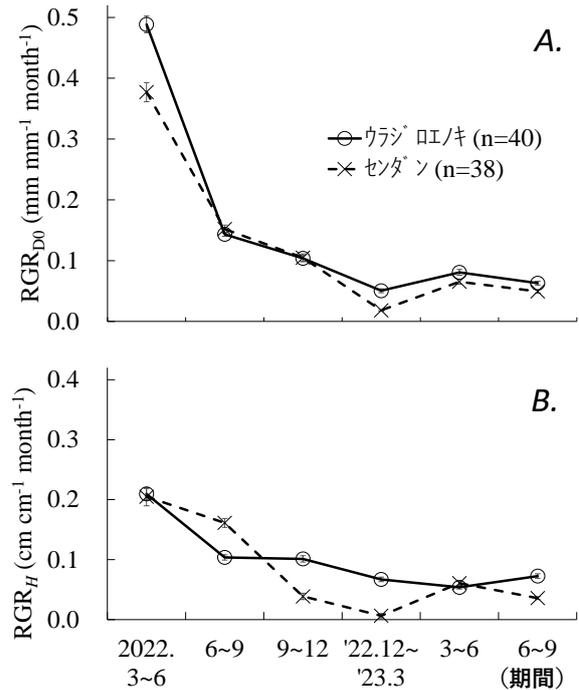


図-2. 三ヶ月毎の月あたり相対成長速度(RGR), A: 根元直径, B: 樹高, 値は平均値±標準誤差

Fig. 2 Relative growth rate (RGR/month) for basal diameter (A) and tree height (B) quarterly, value is mean ± SE.

## Thinning and subsequent vegetation changes in abandoned cypress forests in Minamisoma City, Fukushima Prefecture

Iwao UEHARA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tokyo University of Agriculture

**Abstract:** In this study, I thinned an artificial cypress forest in Minamisoma City, Fukushima Prefecture, and conducted a subsequent vegetation survey. The survey targets were a forest stand that is approximately 30 years old and has never been thinned or pruned (Haramachi district), and a young forest that is approximately 20 years old and has been pruned once 10 years after planting (Odaka district). There are 2 locations. The former had a stand density of 3500 trees/ha, average tree height 12 m, and average DBH 15 cm, while the latter had a stand density of 2000 trees/ha, average tree height 8 m, and average DBH 12 cm. The former cypress forest was thinned by 50% in December 2021, and the latter cypress forest was thinned by 50% in December 2022. Seedlings of 20 to 30 tree species were found in both stands. In addition, we collected samples of soil, branches, leaves, etc., and measured radioactive cesium. The results showed that in the former forest stand, it was approximately 20,000 Bq/h in a 5 cm deep soil layer, and in the latter, in a 5 cm deep soil layer. Approximately 100,000 Bq/h of radioactive cesium was detected.

**Keywords:** abandoned forest, tree thinning, relative illumination, sample collection, radioactive cesium

### 福島県南相馬市のヒノキ放置林における間伐の実施とその後の植生変化

上原 巖<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京農業大学

**要旨:** 本研究では、福島県南相馬市のヒノキ人工林において間伐をおこない、その後の植生調査をおこなった。調査対象は林齢約30年で一度も間伐や枝打ちなどを実施していない林分(原町地区)と、植栽10年後に枝打ちを一度施した約20年生の若齢林(小高区)の2か所である。前者は立木密度3500本/ha、平均樹高12m、平均DBH15cm、後者は立木密度2000本/ha、平均樹高8m、平均DBH12cmの林分であった。2021年12月に前者、2022年12月に後者のヒノキ林においてそれぞれ50%の本数間伐を実施した。両林分ともに20~30樹種の実生が見出された。また、土壌、枝葉などのサンプル採集をおこない、放射性セシウムの測定もおこなった結果、前者の林分では深さ5cmの土壌層で約2万ベクレル、後者では、深さ5cmの土壌層で約10万ベクレルの放射性セシウムが検出された。

**キーワード:** 放置林, 本数間伐, 相対照度, サンプル採集, 放射性セシウム

#### I Introduction

The special point of the unprecedented Great East Japan Earthquake that occurred on March 11, 2011 is not only the damage caused by the earthquake, but also the double damage caused by the radioactive contamination caused by the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant that occurred a few days later. Contamination from invisible radioactive fallout such as cesium 134 and 137 has spread to various parts of eastern Japan, and it has been reported that the level of contamination is particularly high in the Hamadori region of Fukushima Prefecture, depending on the direction of the wind at the time of the accident. Even in 2023, there are some areas where it is not possible to collect wild vegetables and mushrooms, and the concerns of not only farmers and foresters

but also residents remain. Therefore, the Tokyo University of Agriculture, where I work, has been working on the "East Japan Support Project" since 2011. I have focused on the mountain forests of Minamisoma City, where the concentration of radioactive materials in forests is particularly high (1)(4)(5)(6). I have been investigating the state of contamination and looking for ways to regenerate the forest. Several surveys have already attempted to practice thinning at Japanese artificial cypress stand and they have showed thinning is one the useful method to rebirth forest vegetation (2,3,7,8). Therefore, in this study, I attempted intensive thinning as a means of forest regeneration. By carrying out intensive thinning, I aimed to increase the illuminance of the forest area and the forest floor, and to regenerate the vegetation. This paper reports on the effects of

thinning in abandoned cypress forests in the Minamisoma city.

## II Research Method

**1. Survey Site** The target of the survey is the forest in the Hamadori region of Fukushima Prefecture and Minamisoma City. In collaboration with the Soma Regional Forestry Association, which manages the area, in December 2020, a 30-year-old cypress plantation (113 m above sea level) in Haramachi Ward, Minamisoma City, and in December 2022, about 20-year-old cypress plantation (24 m above sea level) in Odaka Ward, Minamisoma City were surveyed. In both of Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*) forests were thinned by 50 %. The cypress forest in Haramachi Ward has not undergone any pruning, removal, or thinning for over 30 years since it was planted, and the stand density was 3,500 trees/ha, the average tree height was approximately 12 m, and the average diameter at breast height was about 15 cm (Fig. 1).

On the other hand, the cypress forest in Odaka Ward had a planting density of 2,000 to 2,500 trees/ha, an average tree height of 8 m, and an average diameter at breast height of 15 cm (Fig. 2).

The forest owner also pruned irregularly and unevenly to a height of about 4 meters. The forest floor was about 5 to 15 degree, which was more sloped than the cypress forest in Haramachi Ward. The soil in which each is located is that the A layer (surface layer) is thin and the B layer (clay) is thick. In the latter, layer A was sandy loam.



Fig. 1 30-year-old cypress stand in Haramachi Ward

図-1. 原町区の30年生のヒノキ林



Fig. 2 20-year-old cypress stand in Odaka Ward

図-2. 小高区の20年生のヒノキ林

**2. Survey items** This study conducted a vegetation survey on the forest floor six months after thinning in each forest stand, and measured relative illuminance. Four large survey plots, each 10 m x 10 m in size, were set up, and a 2 m x 2 m mesh was created in each plot. In each quadrat, samples were collected from 10 randomly selected locations and from the leaf litter layer, 5 cm layer of soil, and 10 cm layer. The samples were placed in a thermostat at 60 °C for 48 hours to completely dry, then packed into U8 containers, and radioactive cesium was measured for 1 hour using an Aloka Campbell germanium analyzer (n = 10).

## III Results and discussion

**1. Changes in relative illumination** In the cypress forest in Haramachi Ward, the average relative illumination before thinning was only 0.87%, but it had improved to approximately 19% six months after thinning (Fig. 3).

On the other hand, in the cypress forest in Odaka Ward, the original planting density was more than 1,000 trees/ha lower than in the cypress forest in Haramachi Ward. The average relative illumination before thinning was 6.2%. After thinning, it increased to 37% (Fig. 4). However, the standard deviation of relative illumination was higher in Odaka Ward than in Haramachi Ward.

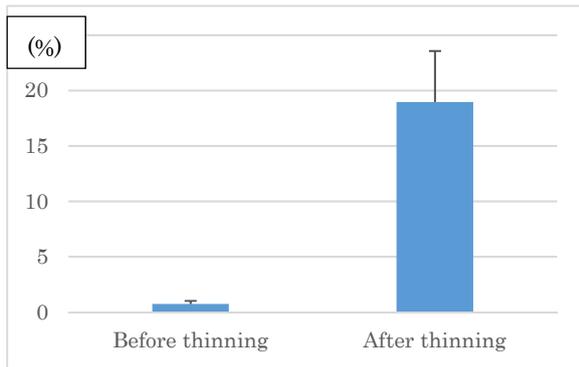


Fig. 3 Changes of relative illumination before and after thinning in Haramachi Ward 30-year-old cypress stand (%)

図-3. 原町区の 30 年生ヒノキ林における間伐前後の相対照度の変化 (%)

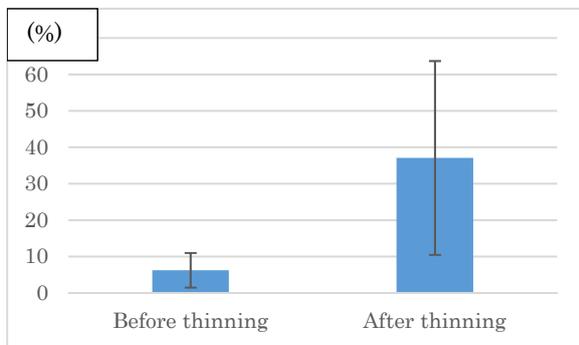


Fig. 4 Changes of relative illumination before and after thinning in Odaka Ward 20-year-old cypress stand (%)

図-4. 小高区の 20 年生ヒノキ林における間伐前後の相対照度の変化 (%)

**2. Changes of floor vegetation** Almost no forest floor vegetation could be seen before the thinning, but after the thinning, about 20 new types of trees germinated. Table 1 shows those tree species. These were either buried seeds or seedlings dispersed by wind or animals.

On the other hand, in the cypress forest in Odaka Ward, about 15 species of forest floor vegetation were already observed before thinning. After thinning, 40 tree species were confirmed to have germinated on the forest floor, about twice as many as in the cypress forest in Haramachi Ward. The tree species are shown in Table 2. Germination of buried seeds, wind, and animal-dispersed seeds was observed, mainly in sun trees, and the growth was more dynamic and the total number of seeds was larger than that of the seedlings in Haramachi.

Table 1 List of tree seedlings observed after 50% thinning in a 30-year-old cypress forest in Haramachi Ward

表-1. 原町区の 30 年生のヒノキ林での 50%間伐後にみられた実生の樹種

---

<Evergreen needle-leaved tree>  
*Cryptomeria japonica, Chamaecyparis obtusa, Abies firma*

<Evergreen broad-leaved tree>  
*Eurya japonica, Rhamphiolepis indica, Pieris japonica*

<Deciduous broad-leaved trees>  
*Toxicodendron vernicifluum, Mallotus japonicus, Acer sieboldianum, Acer pictum, Chengioplanax sciadophylloides, Lindera umbellata, Camellia sinensis, Callicarpa japonica, Callicarpa mollis, Morus australis, Berchemia racemosa, Carpinus tshonoskii*

<Climbing woody plants>  
*Wisteria floribunda, Smilax china, Trachelospermum asiaticum, Akabia trifoliata*

---

Table 2 List of seedlings observed after 50% thinning in a 20-year-old cypress forest in Odaka Ward

表-2. 小高区の 20 年生のヒノキ林での 50%間伐後にみられた実生の樹種

---

<Evergreen needle leaved tree>  
*Cryptomeria japonica, Chamaecyparis obtusa, Pinus densiflora*

<Evergreen broad-leaved tree>  
*Ilex crenata, Camellia sinensis, Quercus myrsinifolia, Ardisia japonica, Osmanthus heterophyllus, Pieris japonica*

<Deciduous broad-leaved trees>  
*Toxicodendron vernicifluum, Lespedeza bicolor, Fraxinus sieboldiana, Viburnum dilatatum, Styrax japonica, Acer crataegifolium, Acer rufinerve, Acer subsp. dissectum, Rhododendron kaempferi, Abelia spathulata, Cerasus jamasakura, Clethra barbinervis, Kalopanax septemlobus, Pertya scandens, Liriodendron tulipifera, Ilex macropoda, Alnus firma, Viburnum phlebotrichum, Quercus serrata, Quercus crispula, Castanea crenata, Carpinus japonica, Smilax china, Chengioplanax sciadophylloides, Lonicera gracilipes, Lindera praecox, Lindera umbellata, Lyonia ovalifolia, Magnolia obovate*

<Climbing woody plants>  
*Akabia trifoliata, Wisteria floribunda*

---

The percentage of seedlings appearing on the forest floor is 11% for *Toxicodendron vernicifluum*, 10% for *Acer crataegifolium*, 9% for *Quercus serrata*, 9% for *Fraxinus sieboldiana*, 8% for

*Ilex macropoda*, 8% for *Cerasus jamasakura*, 7% for *Lespedeza thunbergii*, 6% for *Akebia trifoliata*, 5% for *Abelia spathulata*, and 5% *Styrax japonicus*. These trees accounted for over 75% of the total. Many intolerant species were seen among the seedlings, and these included tree species whose seeds are dispersed by the wind such as maples and hornbeams, tree species whose seeds are dispersed by animals such as Fagaceae and Magnolia, and seedlings which are dispersed by birds such as *Viburnum dilatatum*. It was observed that the occurrence was caused by both buried seeds. Most of the seedlings were less than 30 cm in height, but only *Castanea crenata* showed remarkable growth in height, with some individuals exceeding 1 meter in height. .

From the above, the characteristics of this survey are that mixture of evergreen and deciduous trees, tree species in temperate and in warm temperate forests, and tree species generated by multiple forms of seed dispersal, such as wind, bird, animal dispersal, were observed.

**3. Radioactive cesium** In June 2021, we investigated the radioactive cesium in the soil of a cypress forest that had been abandoned for the past 30 years. In the soil layer at a depth of 5 cm, approximately 1,000 Bq/kg of cesium-134 (half-life 2 years) and approximately 22,000 Bq/kg of cesium-137 (half-life 32 years) were detected. This suggests that for several years starting in 2011, the cesium that had accumulated in the fallen leaf layer subsequently moved to the surface soil as the fallen leaves decomposed, and remained in the very upper part of the soil.

Forest soil samples from a young cypress forest in Odaka Ward were also collected and radioactive cesium was measured. This figure is an order of magnitude higher than the soil in Haramachi Ward, where 100,000 Bq/kg of cesium-137 were detected in the soil at a depth of 5 cm. However, at a depth of 10 cm in the soil, the concentration rapidly decreased to 4,000 Bq/kg, less than one-twentieth, indicating that radioactive cesium remains in the very surface layer of the soil.

**4. Summary of effects of thinning** A summary of the results of thinning in two cypress forests in Minamisoma City's Haramachi and Odaka wards revealed the following four points.

- ① When thinning a cypress forest, be conscious of leaving the canopy open rather than simply thinning the number of trees.
- ② Thinning is effective in regenerating vegetation.
- ③ New vegetation is brought about by buried seeds, wind, and animal dispersal.
- ④ Pruning even up to 4 m in height is effective in regenerating

vegetation.

There have been abandoned artificial forests of cypress and cedar not only in Fukushima but all over Japan. It has been said that thinning should be encouraged, but thinning has the effect of activating the metabolism of artificial forests in many ways. The same thing can be said when faced with any difficult problem, but if you start by solving the smallest problem you can without suddenly making a big deal out of it, you may find a way out, a way out, or a ray of light. The same is true of the problem of abandoned forests in various regions. Rather than getting lost in the face of a vast abandoned forest, it is better to start with a small area of forest and move forward while feeling small responses, which will bring about better results for the forest's ecology. It seems that both global and local approaches will be necessary in the future.

#### Acknowledgment

All thinning work was outsourced to the Soma Regional Forestry Association. Author would like to appreciate them.

#### References

- (1) 中村幸人・大淵香菜子・西野文貴・上原巖 (2016) 南相馬とその周辺における東日本大震災以降の植生と植生景観の変動. 生態環境研究 23(1): 51-77
- (2) 野口麻穂子・酒井敦・奥田史郎・稲垣善之・深田英久 (2009) 四国地方のヒノキ人工林における間伐後6年間の林床植生変化. 森林立地 51(2): 127-136
- (3) 城田徹央・森本隆弘・丸山一樹・岡野哲郎 (2012) 壮齢ヒノキ人工林における強度間伐後14年間の林床植物の種組成の変化. 信州大学 AFC 10: 27-37
- (4) 東京農業大学 (2021) 東日本大震災からの農業復興支援モデル ―東京農業大学10年の軌跡―. pp.140-153. ぎょうせい. 東京
- (5) 上原巖 (2020) 森林・林業のコロンブスの卵. pp.82-95. 理工図書. 東京
- (6) Uehara I (2022) Possibility of abandoned forest regeneration by thinning and monitoring and radioactive cesium for 10 years in Fukushima forest. Journal of Forest and Human Health Promotion Research 3: 11-18
- (7) 山岸極・伊藤哲・平田令子 (2022) ヒノキ人工林間伐時の下層植生の刈り払いが林床植生の発達に与える影響. 森林立地 64(1): 13-21
- (8) 渡邊仁志・横井秀一・井川原弘一 (2011) 下層植生が衰退したヒノキ人工林における間伐後5年間の下層植生の種組成と植被率の変化. 岐阜県森林研究所研究報告 40: 1-13

## 間伐から 40 年を経た高齢ヒノキ人工林の林分構造と多様性

五十嵐哲也<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 森林研究・整備機構 森林総合研究所

**要旨:** 茨城県の高齢ヒノキ林 (1903 年植栽) において、間伐後の林分構造と下層植生の多様性の長期的な変化を把握した。1983 年に間伐を行い、2002 年、2010 年および 2023 年に追跡調査を行った。上木のヒノキ (胸高直径 5 cm 以上) は自己間引きが進行して密度が減少した。2010 年には上木に広葉樹が加入していたが、2023 年までに半数が枯死し、複雑化しかけていた階層構造が再び単純化した。その結果、下層の光環境が改善し、低木 (胸高直径 5 cm 未満) の本数と下層植生の種数は 2023 年には 2010 年より増加していた。ヒノキ人工林においては高齢林であっても林冠の閉鎖が続く限り、林分構造の複雑化や植物の多様性の増加は進行しない可能性が示された。

**キーワード:** 高齢ヒノキ人工林、間伐、林分構造、生物多様性

### Forest structure and diversity of an old-growth Hinoki cypress plantation forest 40 years after thinning

Tetsuya IGARASHI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Forestry and Forest Products Research Institute, Forest Research and Management Organization

**Abstract:** Long-term changes in forest structure and understory vegetation diversity were studied in an aged Hinoki cypress forest (planted in 1903) in Ibaraki Prefecture, Japan, after thinning in 1983 and follow-up surveys in 2002, 2010 and 2023. The upper Hinoki cypress trees ( $\geq 5$  cm in diameter at breast height) decreased in density due to progressive self-thinning; broadleaved trees recruited the upper tree layer in 2010 and vertical layer structure became partially complex, but by 2023 half of them had died, and the vertical structure was simplified again. As a result, the light environment in the understory improved, and the number of shrub ( $< 5$  cm in diameter at breast height) and the number of species in the understory vegetation ( $< 2$  m in height) increased in 2023 compared to 2010. In Hinoki cypress plantation forests, it was shown that a single thinning may not progressively increase the complexity of forest structure and plant diversity, even in older forests.

**Keywords:** old growth hinoki plantation, thinning, stand structure, biodiversity

#### I はじめに

現在、社会情勢の変化に伴い人工林が長伐期化しつつある。長伐期化した高齢人工林では木材生産のみならず、植物をはじめとした生物の多様性など公益的機能の発揮も期待される。

生物多様性に影響する要因の一つに、森林の階層構造がある (6)。一般に若齢人工林では階層構造が単純であり、高齢になるに従ってそれが複雑化し、生物多様性も高くなるとされる (1, 4, 6)。しかし、階層構造が複雑化する長期的な過程における他の林分構造の変化や植物多様性の変化については不明な点も多い。

一方、間伐は高齢林においても成長量の増加などの効果を示すことが報告されている (2, 5, 7)。しかし階層構造や多様性に対する長期的効果については情報が乏しい。

本研究では、高齢ヒノキ人工林における林分構造と植

物多様性の長期的な変化と、これらに対する間伐の影響を明らかにすることを目的とした。

#### II 材料と方法

**1. 調査地** 茨城県筑波山の国有林 17 林班さ小班のヒノキ人工林に調査地を設置した。調査地は標高 290 m、傾斜角 20°の緩斜面の斜面中部に位置する。1903 年に植栽され、2023 年時点で 120 年生の高齢林分である。落葉広葉樹二次林と隣接しているため、ある程度の種子散布は期待できる。また、この地域ではシカによる食害は発生していない。

1983 年に無間伐区と間伐区を設置し、無間伐区は以後無処理とした (1983 年以前の履歴は不明)。間伐区では 1983 年に本数比 44 %、材積比 33 %の下層間伐を行い、それ以降は無処理とした。

2. 調査項目 無間伐区および間伐区のそれぞれの林内に 500 m<sup>2</sup> の方形プロットを設置し、上木（胸高直径 [DBH] 5 cm 以上の立木）の胸高直径を測定した。

各 500 m<sup>2</sup> プロットの内部に 100 m<sup>2</sup> のプロットを設置し、低木（樹高 2 m を越え、胸高直径が 5 cm 未満の立木）の本数と、下層植生（草本と樹高 2 m 以下の木本）の種数を測定した。

調査は、間伐直後の 1983 年（80 年生時）に行い、その後、2002 年（99 年生時）、2010 年（107 年生時）、2023 年（120 年生時）に調査を行った。ただし、無間伐区は 2010 年を最後にプロット位置が不明となり 2023 年は調査不能であった。

2023 年のみ、レーザー測高器（TRUPULSE）を用いて間伐区のプロット内に設定した 30 m のラインの上に分布する葉群の位置を測定し、葉群の垂直分布を簡易推定した。また、全天球カメラ（リコー THETA）を用いて地上高 2 m で全天写真を撮影し、開空度を推定した。

### III 結果と考察

調査地の林相は 1983 年（80 年生時）の調査開始時から一貫して林冠が閉鎖した均質な林分であり、間伐に伴い形成されたギャップや、風害や雪害、病虫害などによるギャップの形成は見られなかった。

上木のヒノキ立木の密度は、44 % という本数間伐率に比して間伐直後の無間伐区と間伐区との差は小さく（無間伐区 1275 本 / ha、間伐区 1109 本 / ha）、間伐前の立木密度は間伐区で高かったと思われる。無間伐区では 80 年生時には 1275 本 / ha と間伐区より高かったが、99 年生時までには 933 本 / ha まで低下し、間伐区より低くなった（図-1）。間伐区では 107 年生時以降に密度の減少が始まり、120 年生時には 751 本 / ha まで低下した。120 年生時の上木のヒノキの相対幹距が 14 % と非常に密であったこと、および樹冠の閉鎖が保たれ劣勢木の枯死が多く見られたことから、これらの密度減少は自己間引きが進行した結果であると推察した。

上木（DBH > 5 cm）の広葉樹は 99 年生時までは無間伐区、間伐区ともに存在しなかったが、ヒサカキやシロダモなどの低木の成長によって無間伐区では 107 年生時に 628 本 / ha に達していた（図-2）。間伐区では 107 年生時に 411 本 / ha に達したが、120 年生時では 215 本 / ha まで低下していた。また、間伐区における上木に加入した広葉樹の胸高断面積合計は 107 年生時の 2.4 m<sup>2</sup> / ha から、120 年生時には 1/3 以下の 0.7 m<sup>2</sup> / ha まで大きく減少しており、本数による減少以上に上木に加入した広葉樹が減少していることが示された。

上木のヒノキの平均胸高直径は、無間伐区では 80 年生時の 24.6 cm から 107 年生時の 33.4 cm まで、間伐区では 80 年生時の 22 cm から 120 年生時の 34.9 cm まで順調に成長していた（図-3）。

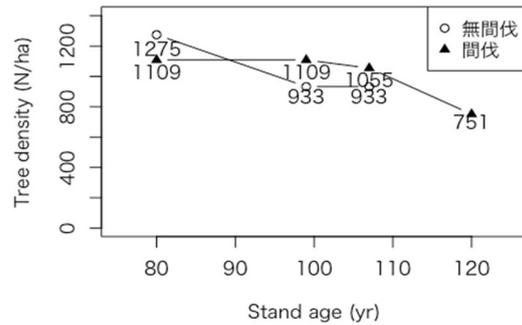


図-1. ヒノキ上木（DBH ≥ 5 cm）の立木密度の推移  
Fig. 1 Changes in the density of Hinoki trees (DBH ≥ 5 cm)

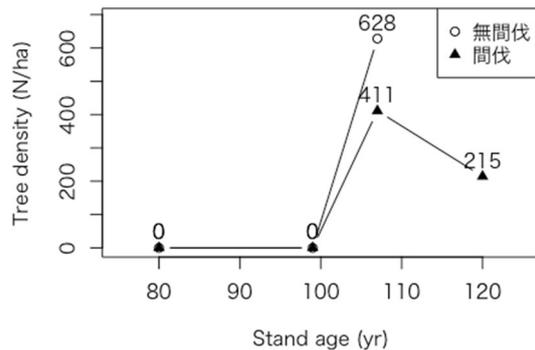


図-2. 広葉樹上木（DBH ≥ 5 cm）の立木密度の推移  
Fig. 2 Changes in the density of broad-leaved trees (DBH ≥ 5 cm)

上木に加入した広葉樹（シロダモと若干のヒサカキ）の平均胸高直径は間伐区で 107 年生時の 8.1 cm から、120 年生時には 6.1 cm に減少していた（図-4）。これは上木に加入した広葉樹では、劣勢木ではなく、個体サイズの大きい個体が先に枯死したことを示す。サイズの大きい広葉樹の個体が先に枯死した原因については、現時点では不明であるが、120 年生時点での地上 2 m の明るさは広葉樹稚樹の生存には十分であった（開空度 5%~12%）。サイズの大きい広葉樹は葉群の位置が高く、上木のヒノキの葉層に近い場合、被陰の影響を強く受ける個体が多かった可能性が考えられる。

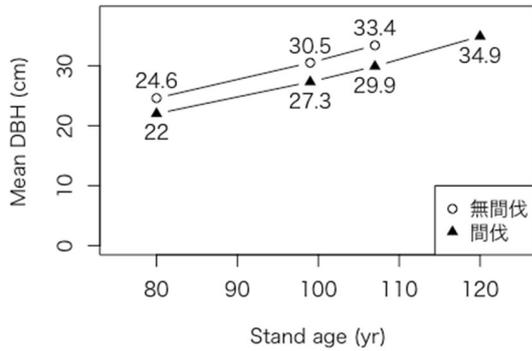


図-3. ヒノキ上木 (DBH ≥ 5 cm) の平均胸高直径の推移

Fig. 3 Changes in average diameter at breast height of Hinoki trees (DBH ≥ 5 cm)

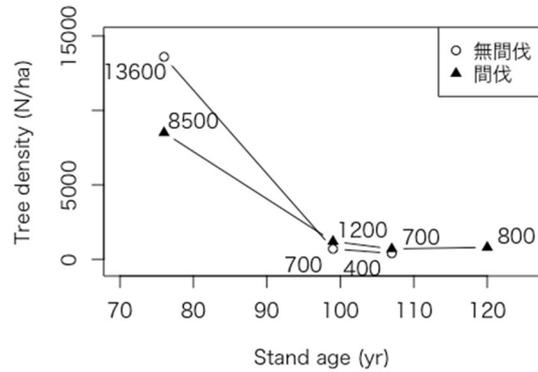


図-5. 低木 (DBH < 5 cm, 樹高 > 2 m) の落葉樹の密度の推移

Fig. 5 Changes in the density of deciduous tree shrubs (DBH < 5 cm, height > 2 m)

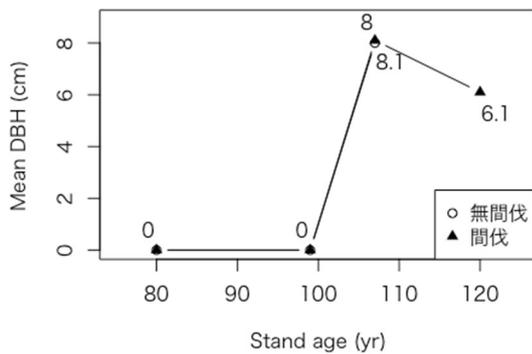


図-4. 広葉樹上木 (DBH ≥ 5 cm) の平均胸高直径の推移

Fig. 4 Changes in average diameter at breast height of broad-leaved trees (DBH ≥ 5 cm)

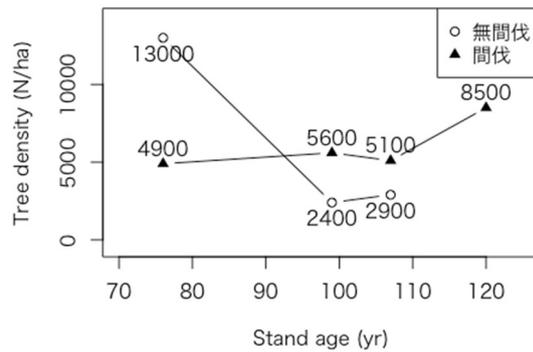


図-6. 低木 (DBH < 5 cm, 樹高 > 2 m) の常緑樹の密度の推移

Fig. 6 Changes in the density of evergreen tree shrubs (DBH < 5 cm, height > 2 m)

低木の落葉樹の密度は無間伐区, 間伐区ともに 80 年生から 107 年生時にかけて大きく低下し, 間伐区ではほぼそのまま 120 年生時に至っている (図-5)。一方, 常緑樹では無間伐区では落葉樹同様の变化なのに対して間伐区ではほぼ横ばいで推移し, 107 年生時から 120 年生時にかけて増加している (図-6)。これは, 比較的低い位置に葉を広げ, 低木の植生を強く被陰していた上木に加入した広葉樹が 107 年生時から 120 年生時にかけて大きく減少した (図-2) ことで光環境が改善した結果と推察する。

下層植生の落葉性の種数は, 無間伐区では 80 年生時の 19 種から 107 年生時の 1 種まで減少の一途を辿っていた (図-7)。間伐区では 80 年生時には存在しなかったが,

間伐後の 99 年生時には 7 種に増加しており, 間伐による下層植生の光環境の改善が影響していると見られる。しかし, その後 107 年生時には 2 種まで減少しており, これは前述のように上木に加入した広葉樹が低い位置で繁茂した期間に下層植生が被陰されたことによると推察する。同様の結果は (3) でも報告されている。上木に加入した広葉樹が減少した 120 年生時に種数が 8 種まで増加していたことも, これを裏付ける結果であった。

下層植生の常緑性の種数は無間伐区, 間伐区ともに 99 年生時までには増加し, 107 年生時まで減少したのち, 間伐区では 120 年時までには再度増加するという推移を示していた (図-8)。特に間伐区では 99 年生時までには 0 種から 13 種まで増加しており, 間伐の効果が顕れている。そ

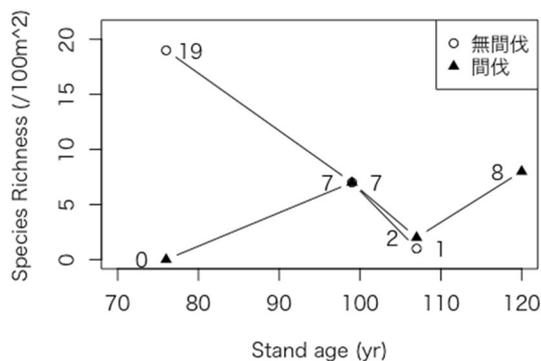


図-7. 下層植生（高さ ≤ 2 m）の落葉性の種数の推移  
 Fig. 7 Changes in the number of deciduous species in the understory vegetation (height ≤ 2 m)

の後の推移は落葉性の種と同様、上木に加入した広葉樹による被陰と、枯死による被陰からの開放が影響していると見られる。

120年生時の間伐区の林内の葉群分布は、林冠（高さ16 m～28 m）には上木のヒノキの葉が、高さ8 m以下に下層植生と低木の葉が分布し、両者の中間が空いた2層構造であった。107年生時にはシロダモなどの広葉樹が低木の高さを超えて上木に加入していたが、120年生時までにはその多くが枯死した結果とみられる。

本調査地は間伐後も高い密度のため早い段階で林冠が閉鎖し、閉鎖林冠が破られることなく、自己間引による密度減少を主体に推移してきた林分と考えられる。このまま閉鎖林冠の状態が続いた場合、自己間引きによる密度減少がさらに進行しても、低木から上木への広葉樹の加入は起こりにくく、階層構造の複雑化は見込めないと推察した。

一斉造林された針葉樹人工林の場合、長伐期化、高齢林化は、それだけでは多様性や階層構造の複雑さを増大させる要因にはならない可能性がある。200年生前後の林齢の針葉樹人工林では林冠層に広葉樹が混交して複雑な階層構造を持つ例があるが、そのような林分でも、加齢に伴う自然枯死だけでなく、過去に林冠層の閉鎖を破るような強い攪乱を受けていることが示されている(6)。

本調査地のような高齢かつ過密な針葉樹人工林を低コストで生物多様性の高い複雑な構造を持つ林分に誘導するには、少なくとも長期間に渡って林冠の再閉鎖が起こらないような極めて強度の間伐や列状間伐、孔状間伐などの施業を行う必要があると推察した。

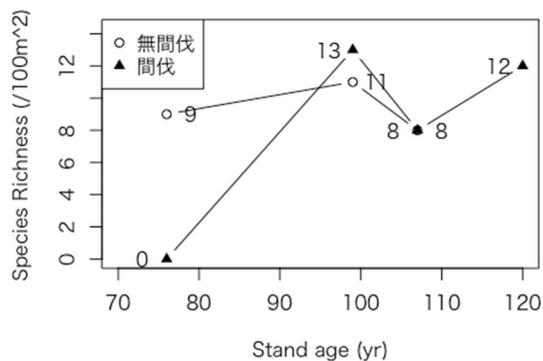


図-8. 下層植生（高さ ≤ 2 m）の常緑性の種数の推移  
 Fig. 8 Changes in the number of evergreen species in the understory vegetation (height ≤ 2 m)

#### 引用文献

- (1) Ito S, Nakagawa M, Buckley GP, Nogami K (2003) Species richness in sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) plantations in southeastern Kyushu, Japan: the effects of stand type and age on understory trees and shrubs. *Journal of Forest Research* 8: 49–57 <https://doi.org/10.1007/s103100300005>
- (2) 河原雄一郎・下元経寛・吉田茂二郎・村上拓彦 (2004) ヒノキ高齢林の間伐に関する研究. *九州森林研究*, 57: 306–310
- (3) 清野嘉之 (1990) ヒノキ人工林における下層植物群落の動態と制御に関する研究. *森林総研研報* 359: 1–122
- (4) Mizunaga H, Fujii K (2013) Is foliage within crowns of *Cryptomeria japonica* more heterogeneous and clumpy with age? *Journal of sustainable forestry* 32: 266–285 <https://doi.org/10.1080/10549811.2013.763150>
- (5) 大住克博・森麻須夫・桜井尚武・斎藤勝郎・佐藤昭敏・関剛 (2000) 秋田地方で記録された高齢なスギ人工林の成長経過. *日本林学会誌* 82: 179–187 [https://doi.org/10.11519/jjfs1953.82.2\\_179](https://doi.org/10.11519/jjfs1953.82.2_179)
- (6) 鈴木和次郎・須崎智広・奥村忠充・池田伸 (2005) 高齢化に伴うヒノキ人工林の発達様式. *日本森林学会誌* 87: 27–35
- (7) 渡邊仁志・茂木靖和・大洞智宏 (2015) 間伐が高齢級ヒノキ過密林の林分構造と成長に及ぼす影響. *日本森林学会誌* 97: 182–185 <https://doi.org/10.4005/jjfs.97.182>

## 秋施肥がスギコンテナ苗の耐凍性に及ぼす影響

飛田博順<sup>1</sup>・原山尚徳<sup>1</sup>・上村 章<sup>1</sup>・香山雅純<sup>1</sup>・齋藤隆実<sup>1</sup>・矢崎健一<sup>2</sup>・奥田史郎<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

<sup>2</sup> 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所北海道支所

**要旨**：育苗時の追肥の時期の違いがスギコンテナ苗の耐凍性に及ぼす影響を明らかにすることを目的として追肥実験を行った。8月から11月まで各月の追肥処理区および追肥しなかった対照区の300ccコンテナ苗に対して、翌1月の耐凍性を針葉の電解質漏出率により評価した。追肥の翌4月に光合成活性を測定し植栽後の成長を調べた。電解質漏出率は、対照区に比べて全追肥処理区で有意に低かったが、11月追肥区は8月、9月追肥区に比べて有意に高い値を示した。追肥翌春の光合成活性と植栽後の樹高成長は、11月追肥区で他の追肥処理区に比べて抑制されることはなかった。追肥により耐凍性が上昇することに加え、追肥処理間では時期が遅い場合に耐凍性に負の影響を及ぼす可能性が示唆されたが、秋施肥による翌年の成長への負の影響はないことが示された。

**キーワード**：クロロフィル蛍光、電解質漏出率、浸透ポテンシャル、光合成

### Effect of fall fertilization on cold tolerance and growth of *Cryptomeria japonica* container seedlings in the following year

Hiroyuki TOBITA<sup>1</sup>, Hisanori HARAYAMA<sup>1</sup>, Akira UEMURA<sup>1</sup>, Masazumi KAYAMA<sup>1</sup>, Takami SAITO<sup>1</sup>, Kenichi YAZAKI<sup>2</sup>, Shiro OKUDA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Forestry and Forest Products Research Institute; <sup>2</sup> Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

**Abstract**: A fertilization experiment was conducted to determine the effect of different fertilization times on the cold tolerance of *Cryptomeria japonica* container seedlings (300 cc) from the second growing season. Cold tolerance was assessed in January following fertilization in both control (no fertilizer) and treatment (fertilization treatment for each month between August and November) groups based on the rate of electrolyte leakage from the needles. Photosynthetic activity was measured in April after fertilization, followed by planting trials. Fertilization treatment in November increased the rate of electrolyte leakage at  $-15^{\circ}\text{C}$  compared with that in August and September, whereas it decreased the rate compared with no fertilization treatment. Compared with other fertilization treatments, spring photosynthetic activity following fertilization and tree height growth up to September after planting were not suppressed by fertilization treatment in November. These results suggest that additional fertilization increases cold tolerance and that late fertilization treatments have a negative effect on cold tolerance; however, fall fertilization does not have a negative effect on growth in the following year.

**Keywords**: Chlorophyll fluorescence, Electrolyte leakage, Osmotic potential, Photosynthesis,

#### I はじめに

再造林の効率化のためにコンテナ苗の利用が促進されている(9)。再造林コストの大きな部分を占める下刈り回数を削減するために、植えてすぐ成長する苗が望まれ、そのための育苗方法が検討されている(10)。これまでに育苗時の9月上旬や10月上旬の追肥(秋施肥)により翌春に植栽した後の1年間の成長に促進効果があることを報告した(7,8)。ただし、秋施肥時期が耐凍性の獲得に負の影響を及ぼし、凍害を受けやすくなるのが危惧される場合がある(6)。針葉樹では9月ごろの秋施肥が耐凍性を高めることが多いが、秋施肥に対する耐凍性の反応は

種特異的であり、施用時期や施用量により異なる可能性がある(3)。本研究では、育苗時の追肥時期の違いがスギコンテナ苗の耐凍性の獲得に及ぼす影響と、耐凍性に見られた変化が追肥の翌春の光合成活性や植栽後の成長に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

#### II 材料と方法

**1. 材料** 森林総合研究所(茨城県つくば市)構内のビニールハウスで育苗した播種後2生育期間目のスギコンテナ苗を用いた。種子は苫田21号(滋賀県林業普及センター油日採種圃少花粉スギミニチュア採種圃で採取)を

用いた。2021年2月にセルトレイ(200穴)に播種し、同年6月にコンテナ(300ccリブ型)に移植した。元肥としてコンテナへの移植時に Osmocote Exact Mini (N-P-K 16-8-11, 肥効期間3-4ヶ月)を1.8g/本(6g/L相当)与えた。追肥として10月中旬に Osmocote Exact standard High K (N-P-K 11-11-18, 肥効期間5-6ヶ月)を1.8g/本与えた。また追肥までに液肥を週1回施用した。側面を開放したビニールハウス内で越冬させ、2年目の春の施肥をせず、追肥開始まで灌水のみで育苗を続けた。

**2. 追肥処理** 追肥前の苗高は $41.8 \pm 1.0$  cm(平均 ± 標準誤差,  $n = 84$ )であった。2022年8月から時期を変えて1回のみ追肥を行い、以下の4つの追肥処理区を設定した: 8月12日(AUG,  $n = 17$ ), 9月6日(SEP,  $n = 17$ ), 10月5日(OCT,  $n = 20$ ), 11月2日(NOV,  $n = 15$ )。追肥を行わない対照区(CON,  $n = 15$ )も設定した。追肥として前述の Osmocote Exact standard High K(肥効期間5-6ヶ月)1.8g/本を根鉢表面に播いた。4.5g/本の追肥量(ハイコントロール085, N-P-K 10-18-15, 肥効期間100日)によりスギコンテナ苗の成長が促進された(5)ことから本研究の追肥量は比較的少ない量という位置付けとなる。育苗期間中の追肥後の成長を明らかにするために8月の追肥前と翌3月に苗高と地際直径を測定した。

**3. 測定項目** 各処理5個体の、根元から30から40cmの位置の二次枝および針葉を対象に、生理特性を測定した。年間で最も気温が低下する2023年1月(11日)に、耐凍性の評価を、一般的に用いられている電解質漏出率の測定により行った(2, 3)。早朝に1個体から二次枝を5本採取し、約2°Cの低温室で、1枝から針葉5mm片を10枚作成し、1mlのイオン交換水を入れた30mlバイアル瓶5本に1枝から2枚ずつ(5枝で合計10枚)分けた(3)。1個体から分けた5本の内、1本を低温室の2°Cに置き、残りの4本をプログラムフリーザー(ESPEC, MC-711)で-2°Cに2時間入れた後、5°C/時間の速度で冷却した(I)。冷却中、-5, -10, -15, -20°Cの各設定温度で30分間置き、対象サンプル1本を取り出しイオン交換水10mlを加えて自然解凍後に攪拌した。25°Cの室内で20時間安置し、攪拌後に電気伝導度(EC-I)を測定した(Horiba LAQUA twin COND)。オートクレーブで処理し(121°Cで20分)、25°Cの室内で20時間安置後に電気伝導度(EC-d)を測定した。以上の結果より各設定温度での電解質漏出率(REL)を以下の式から算出した。

$$REL = (EC-I - EC-w) / (EC-d - EC-b) \times 100$$

EC-w と EC-b はオートクレーブ前後のイオン交換水の電気伝導度である。2°Cのサンプルについて同様の測定を行った。耐凍性測定までの24日間のハウス内の気

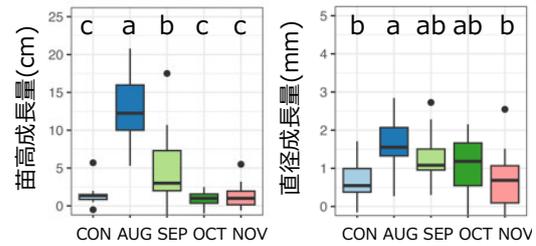


図-1. スギコンテナ苗の追肥直前の8月から翌3月までの苗高成長量(左図)と地際直径成長量(右図)。異なるアルファベットは処理区間で有意差があることを示す(Tukey,  $p < 0.05$ ,  $n = 15-20$ )。

Fig. 1 Height growth (left) and diameter growth (right) from August to next March of containerized seedlings of *Cryptomeria japonica*. Different alphabets indicate significant differences among treatments (Tukey,  $p < 0.05$ ,  $n = 15-20$ ).

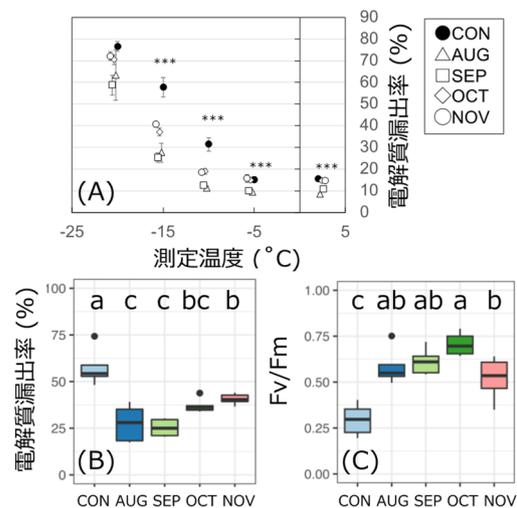


図-2. 1月のスギコンテナ苗の針葉の測定温度ごと(A)と-15度での電解質漏出率(B)と生育環境での夜明け前の $F_v/F_m$ (C)。\*\*\*は尤度比検定で有意差があること( $p < 0.001$ )を示す。異なるアルファベットは処理区間の有意差を示す(Tukey,  $p < 0.05$ ,  $n = 5$ )。

Fig. 2 Electrolyte leakage from *Cryptomeria japonica* shoots frozen at each temperature (A) and -15°C (B), and predawn  $F_v/F_m$  of other shoots under growing condition (C). \*\*\*  $p < 0.001$  Different alphabets indicate significant differences among treatments (Tukey,  $p < 0.05$ ,  $n = 5$ ).

温は外気温より高く、日最高気温で $3.1 \pm 1.1$ °C(平均 ± 標準偏差)、日最低気温で $0.35 \pm 0.49$ °Cの違いがあった。

耐凍性測定の前週に、ストレスの指標として夜明け前

の光合成の最大光量子収率 ( $F_v/F_m$ ) を測定した (Mini-PAM II, Walz)。また、浸透調整の状況把握のために二次枝を採取し浸透ポテンシャルを測定した (VAPRO 5520 型, Wescor)。追肥の翌春の 2023 年 4 月下旬に、二次枝を対象とし、光飽和時 ( $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) の純光合成速度とクロロフィル蛍光 (ETR,  $Y(\text{NPQ})$ ,  $Y(\text{NO})$ ,  $F_v/F_m$ ) を測定した ( $\text{CO}_2$ ;  $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ , LI-6800, Licor)。ETR は電子伝達速度,  $Y(\text{NPQ})$  は制御された熱放散,  $Y(\text{NO})$  は制御されていない熱放散を意味する(4)。追肥の翌春の 5 月中旬にスギコンテナ苗を森林総合研究所実験林苗畑の 9 区画に植栽し植栽時と 9 月 (樹高のみ) に毎木調査を行った。

**4. 解析** 各測定パラメータを目的変数, 追肥処理を固定効果, 個体位置 (育苗時のコンテナの違いと, 植栽時の場所の違い) をランダム効果とした一般化線形混合モデル (GLMM) を作成し, 固定効果について尤度比検定を行った (Rver. 4.3.1)。追肥処理の効果が有意な場合は, 多重比較を行った。

**III 結果と考察**

**1. 追肥後の育苗中のコンテナ苗の成長** 処理開始時の苗高と地際直径は処理間で有意な差がなかった (それぞれ  $p = 0.22$ ,  $p = 0.11$ )。追肥処理開始前の 8 月から翌 3 月までの伸長成長量は, 8 月追肥区, 9 月追肥区の順に大きく, 10 月と 11 月追肥区は対照区と有意な差がなかった (図-1 左)。地際直径の成長量は, 8 月追肥区が 11 月追肥区と対照区より大きかったが, 他の処理区間の差は不明瞭であった (図-1 右)。以上の結果より, 10 月以降の追肥では徒長が生じないことが示唆された。一方, 10 月追肥区でも翌 3 月までに肥大成長が生じていた。以上の 10 月追肥区の応答はこれまでの報告(8)と同様の傾向であった。

**2. コンテナ苗の耐凍性** 針葉の  $-15^\circ\text{C}$  での電解質漏出率は, 対照区で最も高かった ( $57.7 \pm 4.5\%$ , 平均  $\pm$  標準誤差) (図-2A, B)。11 月追肥区の電解質漏出率 ( $40.6 \pm 1.3\%$ ) は対照区より低かったが, 8 月と 9 月追肥区より高かった。10 月追肥区は 8 月と 9 月追肥区と 11 月追肥区間の値を示した ( $37.1 \pm 1.8\%$ )。  $-20^\circ\text{C}$  では特に 8 月追肥区の値のばらつきが大きく, 有意な処理区間差が見られなかった (図-2A)。以上の結果より, 8 月と 9 月追肥区に比べて 11 月追肥区では耐凍性が低下する可能性が示唆された。また, 対照区で明らかに耐凍性が低い値を示しており, 窒素肥料不足による耐凍性低下(6)を支持する結果であった。

耐凍性測定の翌週に測定したシュートの浸透ポテンシャルは処理間で有意な差がなかった ( $p = 0.85$ )。追肥時期

によらず低い浸透ポテンシャルを示し ( $-2.71 \pm 0.11 \text{ MPa}$  ~  $-2.56 \pm 0.05 \text{ MPa}$ , 平均  $\pm$  標準誤差), 浸透調節がされていたことが明らかになった。また, 11 月追肥区の夜明け前の  $F_v/F_m$  は, 10 月追肥区より低下したが, 8 月と 9 月追肥区とは有意な差がなかった (図-2C)。対照区が他の追肥処理区に比べて大幅に低く ( $0.29 \pm 0.04$ , 平均  $\pm$  標準誤差), 窒素不足で低温と強光のストレスを受けていることが示唆された。

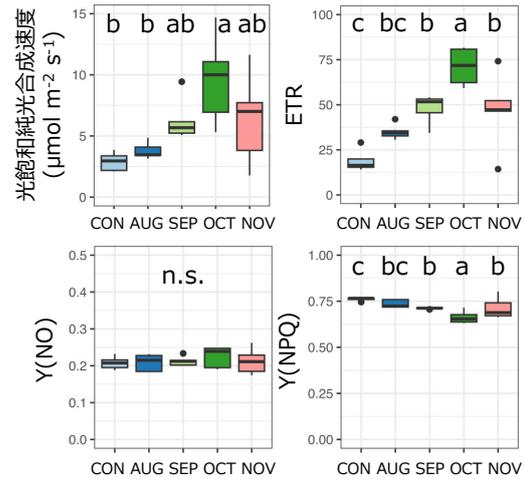


図-3. 追肥の翌 4 月のスギコンテナ苗シュートの光合成活性のパラメータ。異なるアルファベットは処理区間の有意差を示す (Tukey,  $p < 0.05$ ,  $n = 5$ )。

Fig. 3 Photosynthetic parameter at April following fertilization of *Cryptomeria japonica* container seedlings. Different alphabets indicate significant differences among treatments (Tukey,  $p < 0.05$ ,  $n = 5$ ).

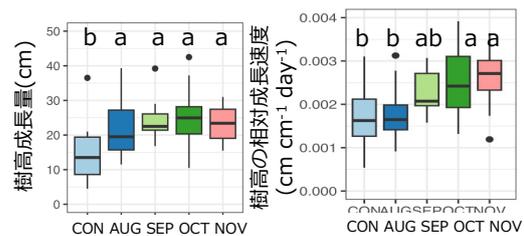


図-4. 追肥の翌年 4 月から 9 月のスギコンテナ苗樹高の成長量 (左図) と相対成長速度 (右図)。異なるアルファベットは処理区間で有意差があることを示す (Tukey,  $p < 0.05$ ,  $n = 14-20$ )。

Fig. 4 Height growth and relative height growth rate of *Cryptomeria japonica* from April to September in the following year of fertilization. Different alphabets indicate significant differences among treatments (Tukey,  $p < 0.05$ ,  $n = 14-20$ ).

**3. 追肥の翌春の光合成活性** 追肥処理の翌春のシート投影面積あたりの光飽和純光合成速度では、10月追肥区が対照区と8月追肥区に比べて高い値を示し、11月追肥区は他処理区と有意な差がなかった(図-3)。ETRも光合成速度と同様の傾向を示し、10月追肥区が他の処理区より高く、9月と11月追肥区は対照区に比べて高い値を示した。Y(NPQ)は10月追肥区が最も低く、対照区が最も高い値を示した。11月追肥区のY(NPQ)は8月と9月追肥区と有意な差がなかった。Y(NO)は処理区間で有意な差がなかった( $p = 0.57$ )。以上より、11月追肥区では他の追肥処理区に比べて光合成活性が低い訳ではないことが明らかになった。対照区では他の追肥処理区に比べて4月の $F_v/F_m$ が低く( $0.705 \pm 0.023$ , 平均  $\pm$  標準誤差) (結果を示していない)、光合成活性の低下を、制御された熱放散であるY(NPQ)により補償する形でエネルギー分配の調整を行っていることがわかった。8月追肥区でも対照区と同様に光合成活性が低い理由は、追肥後の育苗中の伸長成長による希釈効果が考えられる(II)。

**4. 追肥の翌年の植栽後の成長** 追肥の翌年の9月までの樹高成長量は、対照区より追肥処理区で大きかった(図-4左)。樹高の相対成長速度は、10月と11月追肥区が8月追肥区より高かった(図-4右)。以上の結果より、秋施肥により追肥翌年の樹高成長が促進されることはあっても、抑制されることはないことが明らかになった。

追肥に肥効期間5-6ヶ月の緩効性肥料を用いた場合、8月の追肥では育苗中の伸長成長を促進するが、植栽後の翌春から9月までの樹高の相対成長速度が、秋施肥、特に10月や11月の追肥よりも低下することが明らかになった。針葉中の窒素の貯蔵が、植栽後の速やかな成長に寄与する(II)。8月追肥区では冬季に肥料切れになり、針葉中の窒素濃度を高められないことが成長抑制の原因の一つと考えられた。なお、本研究では追肥を根鉢表面に施したため、飛田ら(7)の結果と同様、植栽後の成長に対する根鉢内に残った肥料の影響は考えにくい。

今回の追肥量は6g/L相当であり、過剰な施肥ではなく比較的少ない追肥量であった。樹種によっては過剰な追肥により耐凍性が低下する場合は報告されている(3, 6)。秋施肥がスギコンテナ苗の耐凍性へ及ぼす影響について、施肥量の違いの考慮も必要と考える。

**5. まとめ** 肥料が切れた状態の苗に対して、8月から11月の追肥により追肥をしない場合に比べてスギコンテナ苗の1月の耐凍性が高くなった。追肥処理区間では、追肥時期が遅い場合、スギコンテナ苗の耐凍性に負の影響を及ぼす可能性が示唆されたが、6g/L相当量の秋施肥による翌年の成長への負の影響はないことがわかった。

**謝辞:** 本研究は(国研)森林研究・整備機構森林保険センターによる所内委託プロジェクト「気象害の発生プロセス解明に基づく気象害リスク評価手法の高度化」の支援を受けて行われた。

#### 引用文献

- (1) Burr KE, Hawkings CDB, L'Hirondelle SJ, Binder WD, George MF, Repo T (2001) Methods for measuring cold hardiness of conifers. In: Bigras FJ, Colombo SJ (eds) Conifer cold hardiness. Kluwer Academic, Dordrecht, pp 369-401
- (2) Fiorino P, Mancuso S (2000) Differential thermal analysis, deep supercooling and cell viability in organs of *Olea europaea* L. at subzero temperatures. *Adv Horticult Sci* 14: 23-27
- (3) Islam MA, Apostol KG, Jacobs DF, Dumroese RK (2008) Effects of fall fertilization on morphology and cold hardiness of red pine (*Pinus resinosa* Ait.) seedlings. In: Dumroese RK, Riley LE, Technical coordinators. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations-2007. Fort Collins (CO): USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Proceedings RMRS-P-57: 72-80
- (4) Klughammer C, Schreiber U (2008) Complementary PS II quantum yields calculated from simple fluorescence parameters measured by PAM fluorometry and the saturation pulse method. *PAM Application Notes* 1: 27-35.
- (5) 大平峰子・松下通也 (2019) 施肥量がスギ実生コンテナ苗の成長に及ぼす影響. *日林誌* 101: 109-114
- (6) Smiley ET, Shirazi AM (2003) Fall fertilization and cold hardiness in landscape trees. *J Arboriculture* 29(6): 342-346
- (7) 飛田博順・齋藤隆実・矢崎健一・香山雅純・才木真太郎・上村章 (2020) スギコンテナ苗の植栽後2年間の成長に及ぼす育苗時の追肥の影響. *関東森林研究* 71(1): 37-40
- (8) 飛田博順・上村章・大平峰子・山野邊太郎・才木真太郎・香山雅純・原山尚徳 (2021) スギコンテナ苗の成長に及ぼす育苗時の追肥の影響. *関東森林研究* 72(1): 53-56
- (9) 林野庁: 令和4年度森林・林業白書. <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/r4hakusyo/> (2023.11.13 参照)
- (10) 山中豪 (2019) ガラス室の使用と追肥および育苗密度の違いがスギコンテナ苗の成長に与える影響. *三重県林業研究所研究報告* 9: 21-26
- (11) Zhu Y, Li S, Wang C, Dumroese RK, Li G, Li Q (2020) The effects of fall fertilization on the growth of Chinese pine and Prince Rupprecht's larch seedlings. *J For Res* 31: 2163-2169

## 獣害防止柵撤去時における支柱等の簡易な引き抜き方法の提案

松山元昭<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 埼玉県寄居林業事務所森林研究室

**要旨:** ニホンジカ被害対策として獣害防止柵が設置されてきた。しかし、その撤去方法や撤去歩掛かりについて論じられることはまれである。本試験では、柵に使用される支柱とアンカーについて引き抜き荷重試験及び考案した引き抜き方法による工程試験を実施した。引き抜き荷重試験では、支柱 (FRP, 全長 2,700 mm, 直径 38 mm, 打ち込み深さ 600 mm), アンカー (プラスチックアンカー, 全長 400 mm) とともに地中残長が 250 mm を超えると人力 (引き抜き可能な力を約 400~500 N とした場合) での引き抜きは困難であった。また、ファームジャッキを使用した支柱の引き抜き工程試験では、0.64 人/100 本, 引き抜き棒を使用したアンカーの引き抜き工程試験では 0.07 人/100 本であった。  
**キーワード:** ニホンジカ, 獣害, 柵, 支柱, アンカー, 撤去

### Proposal for an easy method for pulling out posts etc. when removing the animal damage prevention fence

Motoaki MATSUYAMA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saitama Prefecture Yorui Forestry Promotion Office Forest laboratory

**Abstract:** Animal damage prevention fences have been installed as a countermeasure against damage to sika deer. However, the method of removal and the process of removal are rarely discussed. In this experiment, a pull-out load test was carried out on the posts and anchors used for the fence and a process test using the devised pull-out method. In the pull-out load test, it was found that it was difficult to pull out by human power (assuming a force of about 400~500 N) when the remaining underground length of both the post (FRP, total length 2,700 mm, diameter 38 mm, driving depth 600 mm) and anchor (plastic anchor, total length 400 mm) exceeded 250 mm. In addition, in the pull-out process test of the post using a farm jack, the result was 0.64 people/100 pieces, and in the extraction process test of the anchor using a pull-out rod, it was 0.07 people/100 pieces.

**Keywords:** sika deer, animal damage, fences, posts, anchors, removal

#### I はじめに

ニホンジカ被害対策の手法の一つとして、多くの造林地において獣害防止柵が設置されている。設置した柵は設置目的の消滅や経年劣化・損傷等により撤去や張り替えの必要が生じることがある。この場合、柵・支柱・アンカー等資材の撤去の手間やその処分方法・費用等の問題が発生する。これらの問題の中から、過去に獣害防止柵を使った研究で最も労力を使うこととなった支柱及びアンカーの撤去に着目した。

防護柵の設置歩掛かりはメーカーや自治体に示されているものの、撤去歩掛かりについては確認できなかった。支柱やアンカーの引抜についての先行研究の事例としては、アンカーの強度試験に関するもの(I)があるが、撤去作業を論じた研究事例は確認できなかった。

そこで、獣害防止柵の資材として一般に普及している FRP 支柱とプラスチックアンカーを材料に、引き抜き荷重試験を実施し、人力施工による引き抜き作業の可否を

明らかにした。また、獣害防護柵撤去に関する歩掛かり作成の参考となるよう、当研究室で考案した簡易な引き抜き方法について、作業工程試験を実施し作業手間を明らかにした。

#### II 材料と方法

**1. 試験地** 本試験は、埼玉県寄居林業事務所上の原採種園 (埼玉県大里郡寄居町鉢形地内, 標高 120 m) の畑で実施した。様々な作業条件により局所的な値にならないよう、平坦かつ岩塊等を含まない有機質土の場所を試験地とした。1 試験区の大きさは 600 mm 四方とし、2,000 mm の間隔で 5 試験区を設定した。

**2. 材料と道具** FRP 支柱 (直径 35 mm, 38 mm の 2 種, 全長 2,700 mm) に、打ち込み深さがわかるように、先端から 400 mm, 500 mm, 600 mm の部分に目印をつけたものを 5 本ずつ、プラスチックアンカー (全長 400 mm) を 5 本用意した (図-1)。引き抜き道具には、ファームジ

ジャッキ、油圧ボトルジャッキ、引き抜き棒（唐鍬の柄に遊動式金属フックを装着した道具）、単管クランプ（ゴムのクッション材で滑り止め加工）、インパクトドライバーを使用した（図-2）。



図-1. 材料 支柱とアンカー

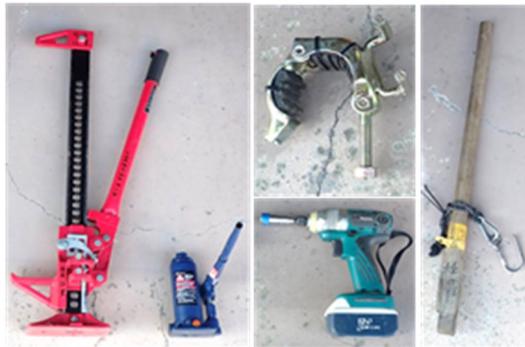


図-2. 引き抜き道具（左からファームジャッキ（3 t、リフト高 530 mm）、油圧ボトルジャッキ（4 t、リフト高 120 mm）、単管クランプ（滑り止め加工）、インパクトドライバー、引き抜き棒）

**3. 引き抜き荷重試験** 直径 35 mm 支柱と 38 mm 支柱をそれぞれ 400 mm、500 mm、600 mm の深さに打ち込み、180 mm 引き抜くために必要な荷重（N）を 5 試験区で計測した。また、直径 38 mm 支柱を 600 mm 打ち込み、600 mm 引き抜く試験を同様に実施した。プラスチックアンカーでは、全長 400 mm を打ち込み引き抜くために必要な荷重（N）を 5 試験区で計測した。なお、計測にはデジタル吊ばかり（ひょう量：300 kg）を使用し、検体とファームジャッキに挟み込む方法で計測した。

**4. 引き抜き工程試験** 支柱の引き抜き工程試験では、直径 35 mm と 38 mm の支柱を 600 mm の深さに打ち込み、各手法で引き抜く時間（秒）を計測した。引き抜きは、ファームジャッキを使用し、2 人 1 組でそれぞれ 5 本連続引き抜く方法、油圧ボトルジャッキを使用し、2 人 1 組でそれぞれ 1 本だけ引き抜く方法、人力で支柱をたわませ円を描くように回しながら地面との空隙を広げて

抜く方法でそれぞれ実施した（図-3）。アンカーの引き抜き工程試験では、全長 400 mm を打ち込み、ファームジャッキでは 2 人 1 組で 5 本連続引き抜く時間（秒）、引き抜き棒では 1 人で 5 本連続引き抜く時間（秒）を計測した（図-4）。



図-3. 支柱引き抜き工程試験（左：ファームジャッキ，中：油圧ボトルジャッキ，右：人力）



図-4. アンカー引き抜き工程試験（左：ファームジャッキ，右：引き抜き棒）

### III 結果と考察

**1. 引き抜き荷重試験（支柱）** 支柱直径と打ち込み深さの違いによる引き抜き荷重試験（5 試験区平均荷重）では、引き抜き最大荷重は、すべて引き抜き開始時に発生し、支柱直径 35mm では、深さ 600 mm : 2,562±358 N（平均±標準偏差）、500 mm : 2,170±189 N、400 mm : 1,583±379 N、支柱直径 38mm では、深さ 600 mm : 2,521±231 N、500 mm : 2,315±281 N、400 mm : 1,621±567 N と打ち込み深さが深いほど引き抜き荷重が大きくなる傾向となった。しかし、引き抜き長が 150 mm を超えるあたりから、引き抜き荷重の差がなくなる傾向にあった。なお、支柱直径の違いによる引き抜き荷重への影響は見られなかった（図-5）。次に、支柱直径 38 mm、深さ 600 mm を全長引き抜く試験結果（5 試験区平均荷重）について、引き抜き開始時（引き抜き残長 600 mm）最大荷重（2,560±218 N）に対する、それぞれの引抜残長時の引き抜き荷重を割合（%）で表したところ、残長 550 mm 時

点で引き抜き荷重は対最大荷重 52 %まで一気に下がり、残長 450 mm (対最大荷重比 33 %) 以降は引き抜き完了まで微細な減少を続けた (表-1)。ここで、人力で支柱の引抜が可能能力を約 400~500 N と仮定すると、はじめに機械で引き抜いたあと人力で引き抜きが可能となる支柱の残長は、約 250 mm (引き抜き荷重 459±128 N) 以下となつてからである。なお、人力で引き抜きが可能なる支柱の打ち込み深さの試験は実施していない。

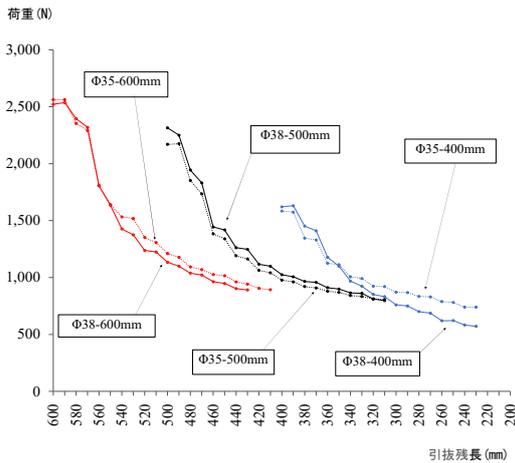


図-5. 支柱引き抜き荷重試験 (支柱直径, 打ち込み深さ別, 引き抜き長 180 mm, 5 試験区平均荷重)

表-1. 支柱引き抜き荷重試験 (支柱直径 38 mm, 打ち込み深さ 600 mm, 引き抜き長 600 mm, 5 試験区平均荷重)

引抜残長 (mm)	600	550	500	450	400	350
平均荷重 (N)	2,560	1,323	1,030	840	728	679
標準偏差 (N)	218	177	145	133	91	102
対最大値比 (%)	100	52	40	33	28	27

	300	250	200	150	100	50
	587	459	340	218	88	0
	125	128	141	126	14	0
	23	18	13	9	3	0

**2. 引き抜き荷重試験 (アンカー)** アンカー (全長 400 mm) を全長引き抜く試験 (5 試験区平均荷重) においても、支柱の結果と同様に引き抜き開始時 (残長 390 mm) の最大荷重 667±80 N に対し残長 350 mm 時点で引き抜き荷重は 322±74 N (対最大荷重比 48 %) まで一気に下がったが、その後、残長 290 mm (引き抜き荷重 481±110

N) まで緩やかに上昇しその後下降し引き抜きが完了した。この傾向は、5 試験区すべてで同様の結果となつたため、アンカーの返し形状によるものと推測したが、原因は不明であった。ここでも、はじめに機械で引き抜いたあと人力で引き抜きが可能となるアンカーの残長は、250 mm (引き抜き荷重 394±49 N) 以下となつてからである (図-6)。

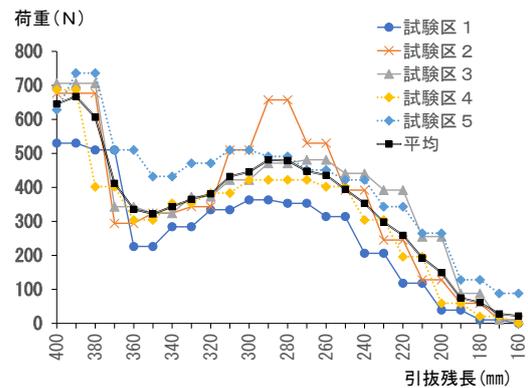


図-6. アンカー引き抜き荷重試験 (全長 400 mm, 引き抜き長 400 mm)

**3. 引き抜き工程試験 (支柱)** ファームジャッキを使用し、支柱直径と打ち込み深さの違いによる引き抜き工程試験を実施した結果、打ち込み深さが深いほど引き抜き所用時間が長い傾向となつた。しかし、支柱直径の違いによる引き抜き所要時間への大きな影響は見られなかった (表-2)。よつて、ファームジャッキでの引き抜き所用時間は、同一の打ち込み深さの平均値を使用することとし、5 試験区の平均で、打ち込み深さ 400 mm : 72.3 秒/本, 500 mm : 75.9 秒/本, 600 mm : 92.0 秒/本となつた。

表-2. 支柱引き抜き工程試験 (引抜方法: ファームジャッキ 2 人 1 組, 支柱直径, 打ち込み深さ別)

(単位: 秒/本)

試験区種別	1	2	3	4	5	平均
Φ35-400	76	75	70	65	72	71.6
Φ35-500	79	70	84	66	70	73.8
Φ35-600	104	89	82	99	85	91.8
Φ38-400	75	77	65	83	65	73.0
Φ38-500	85	78	88	74	65	78.0
Φ38-600	101	94	87	82	97	93.2

次に、ボトルジャッキを使用し、支柱直径の違いによる引き抜き工程試験では、支柱直径 35 mm : 270 秒/本, 38 mm : 340 秒/本となり、支柱直径が大きい方が引き抜き時間を要した。この原因については、クランプを両直

径で使用できるように調整したため、直径 38 mm の支柱への脱着がきつく手間がかかったこと、さらに油圧ボトルジャッキのリフト高が 120 mm と小さく引き抜きまで 5 回の脱着を要したことが挙げられる (表-3)。

表-3. 支柱引き抜き工程試験 (引抜方法: 油圧ボトルジャッキ 2 人 1 組, 支柱直径別)

(単位: 秒/本)					
クランプ 設置回数 種別	1	2	3	4	5
Φ35-600	50	105	160	210	270
Φ38-600	70	140	210	270	340

人力での支柱直径の違いによる引き抜き工程試験では、支柱直径 35 mm では、45 分間引き抜き作業を続けた結果、支柱が地際で折れたため試験を中断した。また、支柱直径 38 mm では、60 分間作業を続けたが、支柱と地面の空隙は深さ 100 mm 程度までしか広がらず、引き抜きを断念した。

支柱引き抜き工程試験から、各引き抜き方法で支柱 100 本当たりの引抜に必要な労務を比較した (表-4)。ファームジャッキでは、0.64 人/100 本と油圧ボトルジャッキ 2.36 人/100 本の約 3.7 倍効率が良い結果となったが、機械重量が 12 kg と運搬上の欠点があることは無視できない。人力では測定不能となったが、撤去方法の選択肢として適当ではないと判断するために十分な結果となった。

表-4. 支柱引き抜き工程試験 作業効率比較 (ファームジャッキ, 油圧ボトルジャッキ, 人力)

種別	ファーム ジャッキ	油圧 ボトルジャッキ	人力
引抜時間 (秒/本)	92	340	-
人工 (人/100 本)	0.64	2.36	-
機械重量 (kg)	12	3	-

4. 引き抜き工程試験 (アンカー) ファームジャッキと引き抜き棒による引き抜き工程試験の結果は 5 試験区の平均で、ファームジャッキ: 44.0 秒/本, 引き抜き棒: 20.2 秒/本となった (表-5)。アンカーの引き抜き工程の中では、アンカーにフックをかける作業が比較的大きな割合を占めた。

アンカー引き抜き工程試験から、各引き抜き方法でア

ンカー 100 本当たりの引抜に必要な労務を比較した (表-6)。引き抜き棒では、0.07 人/100 本とファームジャッキ 0.31 人/100 本の約 4.4 倍効率が良い結果となった。

表-5. アンカー引き抜き工程試験 (引抜方法: ファームジャッキ 2 人 1 組, 引き抜き棒 1 人 1 組)

(単位: 秒/本)						
試験区 種別	1	2	3	4	5	平均
ファーム ジャッキ	49	46	46	46	33	44.0
引き抜き棒	23	18	23	22	15	20.2

表-6. アンカー引き抜き工程試験 作業効率比較 (ファームジャッキ, 引き抜き棒)

種別	ファームジャッキ	引き抜き棒
引抜時間 (秒/本)	44	20
人工 (人/100 本)	0.31	0.07

#### IV まとめ

本試験の結果から、獣害防護柵の支柱やアンカーの撤去を人力施工で実施することは適当ではないことが明確となった。支柱の引き抜きでは、ファームジャッキが有効な施工方法となった。ただし、ファームジャッキでは、機械重量による運搬上の欠点があるため、運搬距離と施工数量により油圧ボトルジャッキと使い分けが必要となる。また、本試験で使用した単管クランプを常備していれば、車載のパンタジャッキで十分代用可能である。アンカーの引き抜きでは、引き抜き棒が圧倒的に有利であった。

本試験における支柱及びアンカーの引き抜き工程試験では、平坦な場所でそれぞれ 5 本連続して引き抜くために必要な時間を計測し、100 本当たりの人工を算出した。実際の獣害防止柵撤去作業では、作業員の疲労等による作業効率の低下が想定される。歩掛かり作成のためには、施工現場におけるまとまった数量 (100 本程度) の引き抜き調査が必要となる。

#### 引用文献

(1) 大谷達也・米田令仁 (2022) シカ防護柵に使われる各部材の強度試験 ―支柱の折り曲げ・アンカー杭の引き抜き・裾ロープの引き上げ―. 森林総合研究所研究報告 21: 229-238

## コンテナ苗生産におけるマルチング資材としてのスギ・ヒノキ球果殻の雑草抑制効果

阿部森也<sup>1</sup>

<sup>1</sup>茨城県林業技術センター

**要旨:** プラグ苗移植等のコンテナ苗生産では、苗サイズが小さい育苗初期に雑草やコケ植物が侵入しやすく、これによる苗の生育阻害が課題となる。これを解決するため、採種園での種子生産時に副産物として発生する球果殻で、スギコンテナ苗の培地表面を被覆した場合の雑草抑制効果と苗の生育への影響を調査した。雑草・コケ植物の発生率は、スギ球果殻被覆・ヒノキ球果殻被覆とも、無被覆と比較して低く抑えられた。特に、コケ植物は、無被覆が80孔すべて発生したのに対し、球果殻被覆ではわずか1孔だった。また、スギ苗木の成長量は球果殻で被覆したコンテナで大きい傾向があり、球果殻を被覆することによる苗木への生育阻害は確認されなかった。

**キーワード:** コンテナ苗, 雑草, コケ植物, マルチング, 球果殻

### Weed suppression effect of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* cone shell as mulching material for container seedlings

Shinya ABE<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ibaraki Prefecture Forestry Research Institute

**Abstract:** Through container seedling production with transplanted plug seedlings, weeds and bryophytes are likely to invade during the early stage of seedling growth, and these inhibit the growth of seedlings. To solve this problem, we investigated the weed suppression effect and impact on seedling growth when the surface of growth media of *Cryptomeria japonica* container seedlings was mulched with cone shells, which are generated as a byproduct during seed production in seed orchards. The incidence of weeds and bryophytes in container seedlings with *C. japonica* and *Chamaecyparis obtusa* cone shell mulching was suppressed to a lower than in non-mulching plot. In particular, bryophyte had grown in all 80 cells of non-mulching plot, whereas only one cell of both mulching plot. In addition, growth of seedlings tended to be larger in containers mulching with cone shells, and no inhibition of seedling growth was observed due to cone shells mulching.

**Keywords:** container seedling, weed, bryophyte, mulching, cone shell

#### I はじめに

林野庁が発行したコンテナ苗生産の手引き(8)では、実生からの生産方法として、苗床で栽培した幼苗をコンテナへ移植する幼苗移植法、育苗箱で栽培した毛苗を移植する毛苗移植法、セルトレイで栽培したプラグ苗を移植するプラグ苗移植法、コンテナの育苗孔に種子を播種する直接播種法の4つが記載されている。このうち、毛苗移植法、プラグ苗移植法、直接播種法は、苗畑での作業を省略でき、適切な時期に播種・移植を行うことで育苗期間の短縮も期待できる(2, 7, 12)。一方で、これらの方法は、苗サイズが小さい育苗初期に雑草やコケ植物の侵入を受けやすく、これによって生じる苗の品質低下が課題となる。野外栽培中のコンテナ苗に発生した雑草は、一般的に手作業によって取り除かれるが、これには多大な労力が生じるため、コンテナ苗の省コスト化には、この作業を簡略化することが重要になる。省力的な防除に

は除草剤を用いる方法もあるが、広葉雑草に有効で育苗中のスギやヒノキに処理できる薬剤は限られている。こうした中で、農業や林業、緑化の分野では、土壌表面を被覆して雑草を抑制するマルチングが広く研究されており、被覆材には、ワラ(II)やマットシート(5)、木質チップ(3)などが提案されている。コンテナ苗にマルチングを導入する場合は、生産経費の上昇を抑えるため、可能な限り入手コストが掛からない被覆材が求められる。

茨城県林業技術センターのスギ・ヒノキ採種園では、秋に球果を採取し、一か月程乾燥させた後、脱粒した種子を篩選別する。篩による精選後の種子重量は、球果重量に対し9%程であるため、種子採取の過程で、多くの球果殻が副産物として発生する(2021年はスギ・ヒノキの球果採種量936kg)。この球果殻をコンテナ苗のマルチングに活用できれば、生産の省力化のみならず、山行後に生分解する循環可能型資源として、SDGsの1つであ

る持続可能な生産の達成にも有望である。針葉樹由来の資材については、樹皮が植物の生育阻害物質を含んでおり(6)、この特性に着目して雑草抑制資材を試作する試みも行われている(13)。球果殻にこれと同様の特性があれば、マルチングに用いることで生育阻害成分に起因する雑草抑制効果が期待できるが、これは同様にコンテナ苗そのものの生育を阻害する可能性も含んでいる。そこで本研究では、コンテナ苗における新たな雑草防除法の開発と採種園における未利用資材の有効活用を目的に、スギ・ヒノキ球果殻マルチングの雑草・コケ植物抑制効果とスギコンテナ苗の生育への影響を調査した。

## II 材料と方法

**1. 球果殻の処理** コンテナ苗の培地上に敷設するにあたり、スギ・ヒノキ球果殻はサイズが大きすぎるため、以下の処理を行った。花粉の少ないスギ・ヒノキ採種園から採取した球果を1か月ほど乾燥させ、種子を取り除いた球果殻をハンマー式の破砕機で処理して中軸と種鱗に分解した。その後、篩(目のサイズ3mm)によって粉状の破片を取り除いたものをマルチング材とした。

**2. 雑草・コケ植物の抑制に適した敷設厚の検討** マルチキャピティコンテナ(JFA-150)から育苗孔を切り取り、壁面の傾斜角が変わる部分(充填後に培地表面が達する部分)より上部を更に切り取った。その下側に透明アクリルを貼り付け、厚みが2mm, 7mm, 15mmとなるよう球果殻を敷設した。その上方10cmの高さから40lmの光を照射し、球果殻層を通り抜けて床面に投影された光をデジタルカメラで撮影した。写真は画像解析ソフトImageJに取り組み、光の投影面積から遮光率を算出した。

**3. 雑草・コケ植物抑制効果と苗の生育への影響** 茨城県林業技術センターの花粉の少ないスギ採種園から得た種子を用い、2023年2月に288穴のセルトレイに播種したプラグ苗を、4月にヤシ殻培地を充填したコンテナ(JFA-150)に移植した(移植1か月後の平均苗高3.5cm)。元肥として緩効性肥料(N:P:K=15:9:12)を培地1Lあたり10g混合した。移植後、培地表面をスギ球果殻で15mm被覆する試験区、ヒノキ球果殻で15mm被覆する試験区、無被覆の試験区の3条件を設定し、各試験区で80本の苗を供試した(球果殻の敷設厚はIII-2を参照)。移植後は野外の育苗施設で管理し、1日に1回、夕方に30分間スプリンクラーで散水を行った。育苗中は、1週間毎に雑草・コケ植物の発生した育苗孔数を計測した。また、9月末に苗の苗高と地際直径を測定した。

**4. 統計解析** 解析にはR ver.4.3.0を用いた。初めに、球果殻被覆による雑草・コケ植物の発生抑制効果を明ら

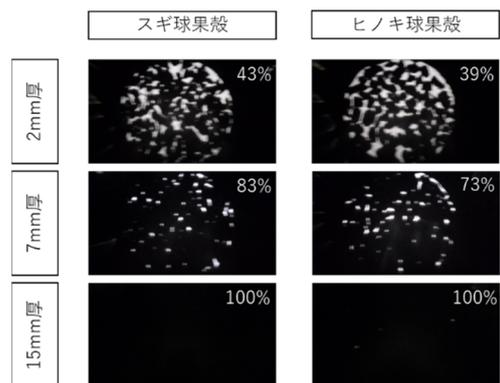


図-1. 球果殻敷設後の光の透過(数値は遮光率)

Fig. 1 Light transmission after cone shell mulching (numerical value is the shading rate)

かにするため、被覆条件による発生率の差をlog-rank検定によって確認した。被覆条件間で有意差がある場合は、survivalパッケージのcox.zph関数を用いた仮説検定で期間中のハザード性が一定であることを確認し、Cox比例ハザードモデルにより、無被覆をベースラインハザードとするスギ・ヒノキ球果殻被覆のハザード比を推定した。

次に、球果殻被覆がスギ苗の生育に与える影響を明らかにするため、線形混合効果モデルによる解析を行った。応答変数は苗高と地際直径、説明変数は被覆条件とした。この際、コンテナの内側に位置する苗は、育苗中に密度効果の影響を受けることが考えられたため、コンテナ内の苗の位置(外周1列とそれ以外の内側)を変量効果に設定した。以上のモデルについて、lmer Testパッケージのstep関数を用いて変数選択を行った。

## III 結果と考察

**1. 球果殻の処理** 分解後の球果殻サイズ(10粒平均)は、スギの中軸が長辺9.8mm, 短辺4.3mm, 種鱗が長辺6.9mm, 短辺3.6mm, ヒノキの中軸が長辺6.0mm, 短辺2.5mm, 種鱗が長辺6.3mm, 短辺4.6mmだった。スギ・ヒノキの乾燥球果殻20kgを分解した後の重量は14.5kgであり、3割程が粉状破片として損失した。摘果直後の球果含水率はスギ・ヒノキともに50~60%程であり、1,000kgの球果を採取した場合の種子回収後の球果殻乾燥重は410kg程度と考えられる。そこから分解時の損失30%を引くと、被覆材として得られる球果殻は290kg程と試算された。

また、分解時は球果殻から多くの精油が発生し、これによる機械のヤニ汚れが課題として明らかになった。

**2. 雑草・コケ植物の抑制に適した敷設厚の検討** 敷設厚毎の光の遮光率の結果を図-1に示した。スギ・ヒノキとも、7mmまでの敷設厚では隙間からの光の透過がみ

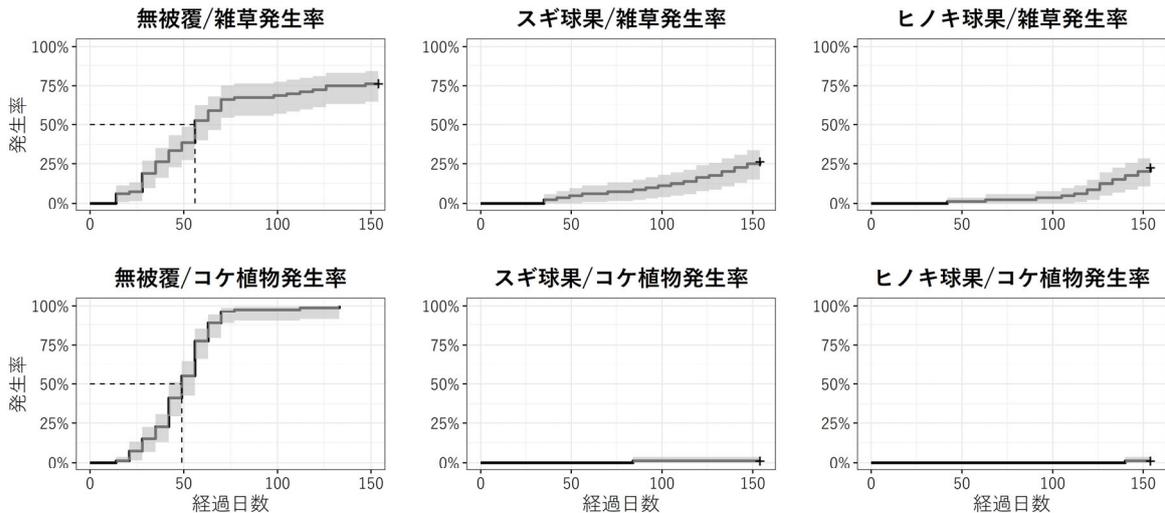


図-2. 雑草・コケ植物発生率のカプランマイヤー曲線 (灰色帯は 95%信頼区間, 破線は生存期間中央値)

Fig. 2 Kaplan-Meier curve of weed and bryophyte incidence (Gray band is 95% confidence interval, dashed line is median survival time)

られたが、15 mm では全ての光が遮断された。マルチングによる雑草の発生抑制には、日光の遮断による発芽・生育抑制の影響が大きいと考えられる(10)。従って、球果殻の敷設厚は 10~15 mm 程度が適当と思われる。その場合、育苗孔当たりの必要球果殻量は約 3.5 g であり、290 kg の球果殻 (球果生重 1,000 kg) で被覆できる苗木は 8.3 万本程度と試算された。

**3. 雑草・コケ植物の発生抑制効果** 雑草とコケ植物の発生率に関する Kaplan-Meier 曲線を図-2 に示した。雑草・コケ植物とも、無被覆に対してスギ・ヒノキ球果殻被覆で発生率が低く、log-rank 検定においても被覆条件による有意差が確認された (雑草発生率:  $p < 0.001$ , コケ植物発生率:  $p < 0.001$ )。そこで、まずコケ植物の発生率について比例ハザードモデルによる解析を行った。その結果、無被覆に対するスギ・ヒノキ球果殻被覆のハザード比は 0.12% となり (表-1)、球果殻マルチングによってコケ植物の発生が大きく抑制されたことが明らかとなった。次に、雑草では無被覆の発生率が 70 日を境に変化しており、仮説検定においても期間中の比例ハザード性の

表-1. 雑草およびコケ植物の発生率に関する Cox 比例ハザードモデルの推定値

	ハザード比	95%信頼区間	p値
<b>コケ植物発生率</b>			
スギ球果	0.0012	(0.0001,0.0140)	<0.001
ヒノキ球果	0.0012	(0.0001,0.0140)	<0.001
<b>雑草発生率(70日目まで)</b>			
スギ球果	0.0730	(0.0313,0.1703)	<0.001
ヒノキ球果	0.0236	(0.0057,0.0971)	<0.001

仮定は棄却された ( $p < 0.001$ )。そのため、雑草発生率については 70 日の前後それぞれで解析を行った。その結果、育苗初期から 70 日目までは log-rank 検定で有意な差が確認され ( $p < 0.001$ )、無被覆に対するハザード比はスギ球果殻で 7.3%、ヒノキ球果殻で 2.4% となった。一方、70 日以降の新規雑草発生率については、被覆条件間に有意差はみられなかった (log-rank 検定の p 値は 0.50)。70 日以降の無被覆の雑草発生率が球果殻被覆と同程度となった原因は不明だが、その要因としては雑草発生の季節的な変化、苗の成長による被陰の影響、培地に発生したコケ植物による発生抑制等の可能性が考えられた。

試験中に侵入した雑草とコケ植物の内訳を表-2 に示した。コケ植物はゼニゴケとヒメツリガネゴケの 2 種が

表-2. 試験中に発生した雑草とコケ植物の内訳

Table 2 List of weeds and bryophytes occurred during the test

	無被覆	スギ球果	ヒノキ球果
<b>雑草</b>			
ハハコグサ	23	1	1
カタバミ	14	16	12
アゼナ	13	0	0
ヒメムカシヨモギ	3	0	0
ザクロソウ	3	0	0
ヤマイ	1	0	0
ハルジオン	1	0	1
ノゲシ	1	0	0
オオアレチノギク	1	0	0
タネツケバナ	0	1	0
アゼカヤツリ	0	2	0
キダチキンバイ	0	0	4
スギ	0	1	0
<b>コケ植物</b>			
ゼニゴケ	69	1	1
ヒメツリガネゴケ	11	0	0

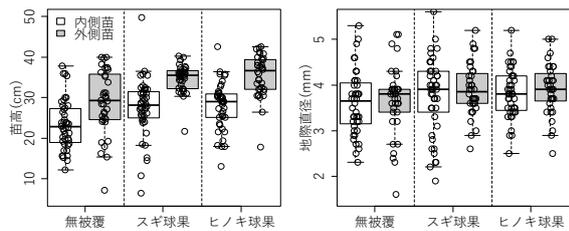


図-3. 9月末の苗高と地際直径

Fig. 3 Seedling height and ground diameter at the end of September

確認されたが大部分はゼニゴケだった。また、コケ植物は球果殻で被覆することで種にかかわらず発生が抑制された。雑草については、無被覆ではハハコグサ、カタバミ、アゼナの発生が多かった。このうち、ハハコグサとアゼナは球果殻被覆によって発生が抑制されたが、カタバミにはその傾向がみられなかった。この3種は日本各地の道ばたでみられる草本だが(9)、種子サイズはハハコグサが0.5 mm、アゼナが0.2 mmであるのに対し、カタバミは1.5 mmとやや大きい(1)。従って、カタバミでは種子が球果殻被覆層の底まで落ちず、日射を受ける深さに留まった種子が発芽に至った可能性が考えられた。このように、球果殻被覆は一定の雑草抑制効果を持つものの、雑草種によってはその効果が得られにくいことが明らかとなった。カタバミについては、熟した果実が弾ける衝撃を利用して種子を散布するため、コンテナの周辺1~2 mのカタバミを除去する環境改善も発生対策として有効だと考えられる。

**4. コンテナ苗の生育への影響** 9月末に測定した苗高と地際直径を図-3に示した。苗高の成長量は無被覆で5.0~5.5 cmほど小さく、線形混合効果モデルでも、固定効果に被覆条件を含むモデルが採用された(表-3)。石井ら(4)は、スギ樹皮を土壤に混和した場合は植物の生育を阻害するが、マルチングに使用した場合は悪影響が生じなかったことを報告している。本研究においても、スギ・

表-3. 苗高および地際直径に関する線形混合効果モデルでの採用モデルの係数推定値

Table 3 Coefficient estimates of the adopted model in the linear mixed effects model for seedling height and ground diameter

応答変数	説明変数			変量効果			
	推定値	標準誤差	p値	分散	標準偏差		
苗高	切片	26.13	3.41	0.08	苗の位置	22.37	4.73
	スギ球果	4.96	0.97	<0.001	残渣	37.63	6.13
	ヒノキ球果	5.51	0.97	<0.001			
地際直径	切片	3.77	0.04	<0.001			

ヒノキ球果殻で被覆した苗の葉色や形状に異常はみられず、球果殻の被覆はスギ苗に対して生育阻害を及ぼさない可能性が示唆された。一方で、無被覆の苗高成長量が低い理由には、雑草による被陰や根系での資源競合、コケ植物の被覆による散水遮断等の可能性が考えられた。

地際直径は無被覆の中央値がわずかに小さかったものの、固定効果に被覆条件は採用されなかった。そのため、9月末時点の地際直径は、苗高と比べ、雑草等との競合の影響が現れにくいことが考えられた。

### 引用文献

- (1) 浅野貞夫 (1995) 原色図鑑芽生えとたね. 全国農村教育協会, 東京
- (2) 藤井栄 (2016) 実生スギコンテナ苗生産期間短縮の試み. 徳島県立農林水産総合技術支援センター研究報告 3: 15-20
- (3) 飯塚康雄・塚田綾子・藤原宣夫 (2003) 支柱及びマルチング材の効果に関する実験的検討. 日本緑化工学会誌 29: 277-280
- (4) 石井孝昭・門屋一臣 (1993) カンキツ園の土壤改良資材としてのスギ樹皮およびヒノキ樹皮の利用に関する研究. 園藝學會雑誌 62: 295-303
- (5) 角龍史朗・伊藤操子・伊藤幹二 (2007) 防草シートを利用したシバザクラ植被形成における雑草の影響とその防除. 雑草研究 52: 57-65
- (6) 河田弘 (1981) パーク (樹皮) 堆肥 製造・利用の理論と実際. 博友社, 東京, 49-59pp
- (7) 近藤晃・袴田哲司・山本茂弘 (2019) 1年生で山行可能なスギコンテナ苗の育苗 秋季にコンテナ容器に直播きする方法. 静岡県農林技術研究所研究報告 12: 41-46
- (8) 林野庁 (2022) コンテナ苗生産の手引き. 林野庁, 東京, 16-17pp
- (9) 牧野富太郎 (1986) 原色牧野植物大圖鑑. 北隆館, 東京
- (10) 高橋輝昌・平野正男・平野義勝・澁谷憲司・小林達明 (2008) 不要植物材由来のチップ材敷設による雑草抑制法の検討. 土木学会論文集 G 64: 289-296
- (11) 保田謙太郎・住吉正 (2008) 筑後および佐賀地域の野菜畑における麦ワラマルチの使用実態の調査. 雑草研究 53: 204-209
- (12) 山田晴彦 (2020) スギコンテナ苗育苗期間短縮に向けた育苗技術の開発. 関東森林研究 71: 41-44
- (13) 吉留竜仁・山内正信・山本英夫・進藤三幸 (2003) 木質系廃棄物の有効利用に関する研究 (3) 樹皮がもつ植物成長抑制成分の特性. 愛媛衛環研年報 6: 55-63

## 短時間の高温ストレスによるスギ実生コンテナ苗の生理障害

大平峰子<sup>1</sup>・松下通也<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター

**要旨**：コンテナ苗が短時間の高温に晒されることでどのような生理障害が発生するのか、さらにその生理障害が発生する概ねの気温を明らかにすることを目的とし、約37～53℃の高温になるよう調整した種子乾燥室に11～15時の間、苗高30 cm程度のスギ実生コンテナ苗を置いてその後に発生した生理障害の程度を調査した。また高温に晒した後の針葉の光合成活性をクロロフィル蛍光法によって測定した。約43～53℃では全ての苗木で、約40～48℃で80%以上の苗木で葉の先端から褐変が生じ、光合成活性が低下した。一方、約37～44℃では葉は褐変せず、光合成活性も低下しなかった。これらの結果から、短時間の高温ストレスにより葉が褐変し、光合成活性が低下することが示された。また、葉の褐変が発生しうる温度の閾値は45℃前後と考えられた。

**キーワード**：高温障害、葉枯れ、枯損、熱ストレス、光合成活性

### Physiological disorders of containerized *Cryptomeria japonica* seedlings under short-term high temperature stress

Mineko OHIRA<sup>1</sup>, Michinari MATSUSHITA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Forest Tree Breeding Center, Forestry and Forest Products Research Institute

**Abstract**: This study aimed to identify physiological disorders observed in containerized *Cryptomeria japonica* seedlings exposed to short-term high temperature stress and determine the temperatures at which these disorders occur. Seedlings with a height of approximately 30 cm were placed in a high-temperature (about 37°C–53°C) seed drying room from 11:00 to 15:00. To investigate the extent of damage, the photosynthetic activity of needle leaves exposed to high temperatures was determined based on chlorophyll fluorescence. All seedlings kept at about 43°C–53°C and more than 80% seedlings kept at about 40°C–48°C exhibited browning from the leaf tips and decreased photosynthetic activity in needle leaves. Conversely, no leaf damage or decrease in leaf photosynthetic activity was observed at 37°C–44°C. These results indicate that exposure to high temperatures for short periods of time leads to leaf browning and reduces the photosynthetic activity in the leaves and that the threshold temperature for leaf browning is approximately 45°C.

**Keywords**: high temperature damage, leaf blight, mortality, heat stress, photosynthetic activity

#### I はじめに

林野庁では、再造林の省力化と低コスト化に向けて、伐採と平行または連続して地拵えや植栽を行う「伐採と造林の一貫作業システム」を推進しており、この作業システムでは伐採と再造林のタイミングを合わせる必要があることから、植栽適期が長いコンテナ苗の活用が重要である(7)。このような背景からコンテナ苗の生産本数は年々増加しており、2022年度には全ての山行き苗木の4割を占めている(7)。

コンテナ苗は屋外あるいは温室等で育成され、夏季に高い気温に晒される。関東地域では屋外の夏季の最高気温が35℃を超えることは珍しくなく、地域によっては40℃近くに達することもある。さらに、温室で育成する場合にはより高い気温に晒される。今後、気候変動によ

り年平均気温の上昇、猛暑日の年間日数の増加等が予測されている(3)ことから、さらに夏季の気温が上昇する可能性がある。このような気候変動による高温、乾燥等による作物への影響が指摘されている(5)。スギ(*Cryptomeria japonica* D. Don)についても、高温に晒されることでコンテナ苗の枯損、葉枯れ、根腐れ等の生理障害を受けることが考えられる。しかし、スギのコンテナ苗で実際にどの程度の気温に晒されることによってどのような生理障害が発生するかは、ほとんど明らかになっていない。生理障害が発生する気温が判明すれば、コンテナ苗を育成する上で高温障害への対処の具体的な指標となるだろう。

そこで本研究では、スギ実生コンテナ苗の短時間の高温ストレスによる生理障害の種類、またその生理障害が

発生しうる概ねの気温を明らかにするため、コンテナ苗を4時間高温状態に置き、その後発生する生理障害の目視観察およびクロロフィル蛍光法による光合成活性の測定を行った。

## II 材料と方法

**1. 材料** 材料として、スギ第二世代候補木同士を交配した8家系の種子を使用した。これらを2023年2月21日にガラス室内で育苗箱に播種し、1日6回灌水して乾かないよう管理して発芽させた。同年5月23日にコンテナ(AFP社製、製品名カセット式苗木コンテナ, TK150-40A)に移植した。コンテナにはココナツハスク(DIA社製、製品名ココユーキオールド)に緩効性肥料(ジェイカムアグリ社製、製品名マイクロロングトータル 280(100日タイプ), N:P:K=12:8:10)を20g/L, 粒状炭酸苦土石灰(田源石灰工業製、製品名マグ-10)を4g/Lの濃度で混合した用土を詰めた。移植後は1日1回の灌水に切り替え、ガラス温室内で育成した。

**2. 高温処理と処理後の生理障害評価** 同年8月30日から9月13日にかけて、コンテナ苗を高温に晒す処理(以下、高温処理)を行った。材料とした8家系から1本ずつで構成した8本の苗木を1つのコンテナトレイにセットし、1回の高温処理につき2つのコンテナトレイを反復として使用した。高温処理直前のコンテナ苗の苗高の平均値±標準偏差は、32.7±2.9cmであった。高温に晒す場所として、種子を乾燥させるための天井が透明な部屋(以下、種子乾燥室)を用いた。高温処理を実施した期間の晴天日に、種子乾燥室内に遮光率50%の寒冷紗を設置し、循環するようサーキュレーターを稼働させた。種子乾燥室の机の上にコンテナ苗を11時~15時の4時間置き、高温ストレスを与えた。なお、高温処理を4時間とした理由は、高温処理に晒した種子乾燥室が1部屋のみであり、異なる温度帯の高温処理を同時かつ長期間にわたり行うことが難しかったためである。また、高温処理は1回のみとし、同じ苗木に繰り返し高温処理は実施しなかった。一方、高温処理を行わず、ガラス温室内で育成し続けたコンテナ苗を対照とした。対照を処理1、異なる日付で実施した高温処理を平均気温が低い順に処理2~6とした。また、高温処理中の気温を温湿度計(ティアンドデイ社製、製品名おんどり Jr., TR43A)で10分おきに測定した。高温処理後、コンテナ苗の状態を目視で確認したあと、異常があれば苗木ごとに記録した。全ての高温処理が終わって1週間後の9月20日に、高温処理による急激な変化がある程度安定したと判断し、クロロフィル蛍光測定器(WALZ製, MINI-PAM)を用

いて明条件(400 $\mu$ mol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)の光化学系IIの量子収率(以下, Y(II)), 暗条件で最大量子収率(以下, F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>)および明・暗条件で非光化学的消光(以下, NPQ)を測定した。なお, NPQは光量子エネルギーを葉で有効活用できず、熱として放散していることを示唆する値である。クロロフィル蛍光測定器による測定対象は、高温処理により主な被害がみられた処理である処理2・3・4・6および対照の処理1とし、処理5は処理6とほぼ同じ状態であったため、測定しなかった。

**3. 統計解析** 統計解析環境R3.2.5(6)を用いて以下の統計解析を実施した。高温処理群(処理1~6)を固定効果とし、実生家系とコンテナトレイの反復をランダム効果とする線形混合モデルにより解析を実施した。固定効果である処理間差の有意性を評価するとともに、Tukey-HSD法により処理区間の事後比較を実施した。

## III 結果

高温処理中の気温の変化を図-1、高温処理後に生理障害が発生したコンテナ苗の割合を表-1に示した。対照としたコンテナ苗を育成したガラス温室内の11時から15時の間の気温は32.7~35.1°Cであった。これに対して、高温処理を行った種子乾燥室の気温は、最も気温が低い9月5日(処理2)で37.4~44.3°Cであり、この日の処理直後に成長点付近の針葉が黄化したコンテナ苗がみられたが、針葉の褐変はみられなかった。一方、9月12日(処理3, 気温41.8~46.8°C)、8月31日(処理4, 気温39.5~47.9°C)の高温処理では、それぞれ87.5%および93.8%の苗木の成長点付近の針葉が褐変したが、枯死した苗木はみられなかった。また、8月30日(処理5, 気温43.3~50.7°C)、9月13日(処理6, 45.1~52.5°C)の高温処理直後、全ての苗木で成長点付近の針葉および主軸上~中部の部位が褐変し、9月20日には処理5、処理6でそれぞれ25.0%、37.5%の苗木が枯死した。高温処理(処理5)直後のコンテナ苗の状態を図-2に示した。また、処理5および6の高温処理では、コンテナのスリットから観察される根系には明確な枯れはみられなかった(図-2)。

明条件で測定したY(II)および暗条件で測定したF<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>の結果を図-3に示した。Y(II)およびF<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>については、対照とした処理1のコンテナ苗に対して、明条件・暗条件ともに処理3、処理4および処理6のコンテナ苗の値は有意に低かった(Tukey-HSD, P<0.05)。また、処理1と処理2の間には有意な差はみられなかった(Tukey-HSD, P>0.05)。一方、全てのコンテナ苗の葉が褐変した処理6は明条件・暗条件ともに最も値が低く、他の全ての処理との間に有意な差がみられた(Tukey-HSD, P<

0.05)。また、明条件および暗条件で測定した NPQ の結果を図-3 に示した。明条件、暗条件ともに対照である処理 1 の NPQ 値に対して有意に差がみられたのは処理 4 および処理 6 であった (Tukey-HSD,  $P < 0.05$ )。また、暗条件での処理 6 の NPQ 値は他のいずれの処理よりも高い値であった (Tukey-HSD,  $P < 0.05$ )。

#### IV 考察

スギ実生コンテナ苗を 4 時間高温に晒した結果、成長点付近の針葉が褐変する生理障害が発生することが明らかになった (図-2)。さらに、晒される温度が高いほど褐変する程度が大きくなり、今回試験した中で最も高い温度帯 (43.3~50.7°C (処理 5), 45.1~52.5°C (処理 6)) では枯死する個体も見られた (表-1)。一方、短時間の高温ストレスでは根系に明確な障害はみられなかった (図-2)。この理由としては、コンテナ内の用土が湿っていたため、地上部より温度上昇が少なかった可能性が考えられる。しかし、今回は用土の温度を測定していなかったため、具体的に根系が何°C に晒されたのかは不明である。一方、阿部ら (1) は日射によってコンテナの培地温度が上昇し、直射日光の当たる南側では根の量が少ないことを報告している。本研究では 4 時間という短い時間の高温ストレスによる生理障害を調査したこと、また寒冷紗を用いて直射日光をコンテナへ当てなかったことから、阿部らの報告 (1) と異なる結果を示したと考えられる。

植物が高温に晒されると、ある程度の範囲内 (一般に ~35°C) で可逆的な光合成速度が低下するが、この範囲を上回る極端な温度に晒されると、光合成システムに不可逆的な損傷を与える可能性がある (2)。光合成システムを破壊する温度は植物種によって異なる (2)。スギ実生コンテナ苗を 43.3~50.7°C の温度帯 (処理 5), 45.1~52.5°C の温度帯 (処理 6) に 4 時間晒した結果、すべての苗木で葉先の褐変や枯死がみられ (表-1)、また光合成活性が大きく低下していること (図-3) から、この温度帯では光合成システムが破壊され、不可逆な光合成速度低下が発生していると考えられる。同様に、41.8~46.8°C の温度帯 (処理 3), 39.5~47.9°C の温度帯 (処理 4) では 80% 以上の苗木の葉先が枯れたことから、この温度帯でも光合成システムが破壊され、不可逆な光合成活性低下が発生していると考えられる。ただし、この温度帯では処理 5・6 に比べ褐変した部位は少なく、枯死に至った苗木はみられなかった。さらにこの温度帯では主軸下部や根系には明確な障害が現れなかったことから、針葉の柔らかい組織に生理障害が現れたと考えられる。一方、37.4~44.3°C の温度帯 (処理 2) では葉に黄化がみられたが褐

変することはなく、また葉の生理活性は対照と有意差がみられなかった (図-3) ことから、この温度帯では光合成速度は低下しないか、可逆的な光合成の低下が起ると考えられる。

37.4~44.3°C の温度帯 (処理 2) で葉枯れが発生せず 41.8~46.8°C (処理 3) の温度帯で葉枯れが発生している (図-1, 表-1)。両者の温度帯には重複があるが、葉枯れが発生する閾値は処理 2 にはなく処理 3 にあることから、高温障害として葉枯れが発生する閾値は 44.3°C 以上 46.8°C 未満の 45°C 前後であると考えられる。これまでの日本の観測史上最高気温は 41.1°C であること (4) から、風が通る屋外で 45°C 前後に達することは考えづらい。しかし、温室等で育成する場合、特に台風等により一時的に密閉する場合に注意する必要があるだろう。ただし、今回の試験では相対照度を 50% としたため、相対照度がそれより高く、直射日光が当たる場合にはより低い気温でなんらかの生理障害が現れる可能性がある。また、今回は 4 時間のみ高温に晒したが、毎日連続した高温に晒される場合には、異なる生理障害が現れるかもしれない。

#### 引用文献

- (1) 阿部森也・大越靖史・飛田正美・鈴木崇弘・根本和典・飯塚聖二・大森 義之 (2022) コンテナの側面遮光がスギコンテナ苗の成長へ及ぼす影響. 第 133 回日本森林学会大会学術講演集: 150
- (2) Berry J and Bjorkman O (1980) Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31: 491-543
- (3) 気象庁 (2017) 地球温暖化予測情報第 9 巻. 気象庁, 東京: 41pp
- (4) 気象庁: 歴代全国ランキング. <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/rankall.php> (2023.11.7 参照)
- (5) 清野 裕 (2008) 地球温暖化と農業. 成山堂書店, 東京: 150pp
- (6) R Core Team (2016) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- (7) 林野庁 (2023) 令和 4 年度森林・林業白書. 林野庁, 東京: 214pp
- (8) Seino H (1998) Impacts of global warming on Japanese agriculture. *J. Adv. Sci.* 10: 216-219

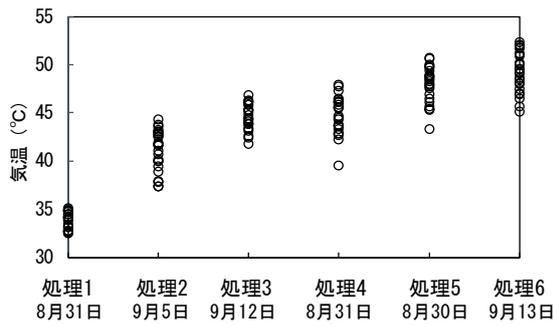


図-1. 高温処理中の気温の変化  
 点は 10 分おきに測定した気温を示す。

Fig.1 Changes in temperature during high-temperature treatment

表-1. 高温処理ごとのコンテナ苗の被害の割合  
 Table 1 Percentage of damage in containerized seedlings after each high-temperature treatment

処理番号	処理1	処理2	処理3	処理4	処理5	処理6
高温処理場所	ガラス温室	種子乾燥室	種子乾燥室	種子乾燥室	種子乾燥室	種子乾燥室
日付	8月31日	9月5日	9月12日	8月31日	8月30日	9月13日
高温処理後苗木の状態	健全	やや黄化	葉先褐変	葉先褐変	葉・主軸上部褐変	葉・主軸上部褐変
葉が褐変した苗木の割合	0%	0%	87.5%	93.8%	100%	100%
枯死した苗木の割合	0%	0%	0%	0%	25.0%	37.5%



図-2. 高温処理（処理 5）直後のコンテナ苗の状態  
 A: 全体, B: 頂端部, C: 根系, A 内で示した矢印: 褐変した部位

Fig. 2 Condition of containerized seedlings after high temperature treatment (treatment 5)

A: whole seedling, B: top of seedling, C: root system, arrows in A: browning of leaves

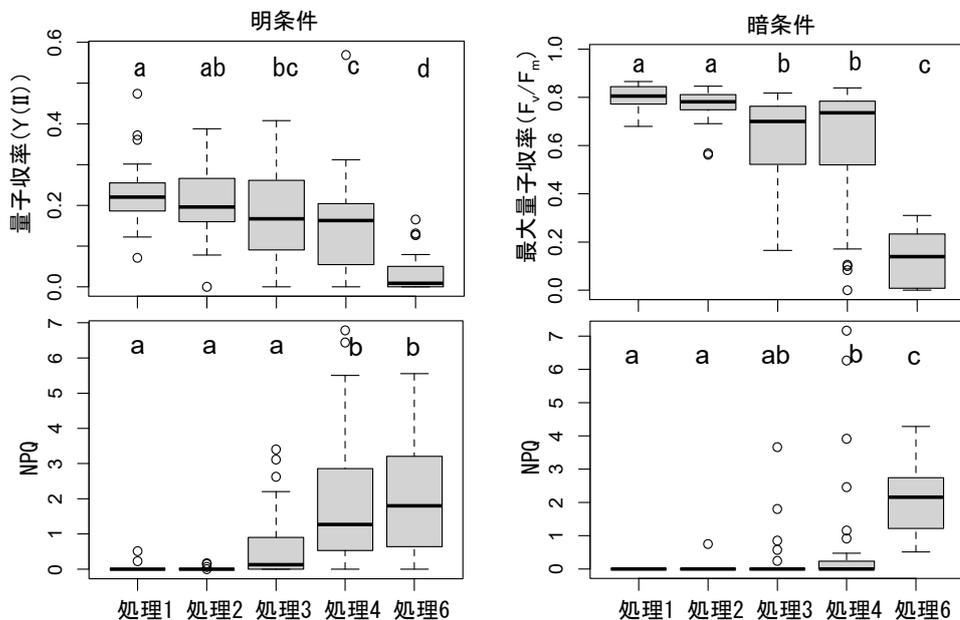


図-3. 高温処理後の量子収率 (Y(II)), 最大量子収率 (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>) および非光化学的消光 (NPQ)  
 図中の異なるアルファベットは有意な差があることを示す (Tukey-HSD, 有意水準 5%)

Fig. 3 Quantum yield of photosystem II (Y (II)), maximum quantum yield (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>) and Non-photochemical quenching (NPQ) after high temperature treatment

## 亜熱帯林樹木の葉の形質と耐塩性

田中憲蔵<sup>1</sup>・河合清定<sup>1</sup>・飯田真一<sup>2</sup>・清水貴範<sup>2</sup>・漢那賢作<sup>3</sup>・伊藤俊輔<sup>3</sup>・壁谷直記<sup>4</sup>・清水 晃<sup>4</sup><sup>1</sup>国際農林水産業研究センター・<sup>2</sup>森林総合研究所・<sup>3</sup>沖縄県森林資源研究センター・<sup>4</sup>森林総合研究所九州支所

**要旨:** 亜熱帯地域の海岸林は防災に重要であり、その保全や造成には様々な樹木の海岸林環境への耐性能力を明らかにする必要がある。葉の形態などの形質は生理機能と密接に関係しているが、葉の耐塩性との関係は不明な点が多い。本研究では沖縄県の海岸周辺に生育している 14 樹種の葉の形態と耐塩性の関係を調べた。各樹種の葉に霧吹きで海水と水道水を吹きかけた塩水処理区と対照区を設定した。処理前と処理後 2 日、3 日、9 日目に葉の光合成系 II の最大量子収率の指標である Fv/Fm 値を測定した。塩水処理後の Fv/Fm 値は、対照区に比べ低下したオオバギなどの種と、ほとんど変化しないオオハマボウなどの種があった。また葉面積当たりの葉重 (LMA) が大きい樹種で Fv/Fm 値の低下が小さく、耐塩性が高い傾向がみられたことから、LMA が葉の耐塩性の指標になると示唆された。

**キーワード:** オオハマボウ, 沖縄本島, 海岸林, Fv/Fm, LMA

## Leaf traits and salt-tolerance of subtropical forest trees

Tanaka KENZO<sup>1</sup>, Kiyosada KAWAI<sup>1</sup>, Shin'ichi IIDA<sup>2</sup>, Takanori SHIMIZU<sup>2</sup>, Kensaku KANNA<sup>3</sup>, Shunsuke ITO<sup>3</sup>, Naoki KABEYA<sup>4</sup>, Akira SHIMIZU<sup>4</sup><sup>1</sup> Japan International Research Center for Agricultural Sciences; <sup>2</sup> Forestry and Forest Products Research Institute; <sup>3</sup> Okinawa Prefecture Forestry Experiment Station; <sup>4</sup> Kyushu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

**Abstract:** Coastal forests in subtropical regions are important for disaster prevention, and their conservation and afforestation require the identification of the ability of various tree species to tolerate coastal forest environments. Leaf functional traits are closely related to physiological functions, but their relationships to leaf salt-tolerance remains unclear. This study investigated the relationship between leaf functional traits and salt-tolerance of 14 tree species growing on and around the coastal area of Okinawa Island. Saltwater-treatment and control were set up in which the leaves of each tree species were sprayed with seawater and tap water using a mist sprayer, respectively. Fv/Fm values, which indicate the quantum yield of photosystem II in leaves, were measured at 2, 3 and 9 days after treatment. The Fv/Fm after salt treatment significantly decreased in some species, such as *Macaranga tanarius*, while in other species such as *Hibiscus tiliaceus*, they remained almost unchanged after treatment. Species with higher leaf mass per area (LMA) showed a smaller decrease in Fv/Fm and more salt-tolerant, suggesting that LMA may be an indicator of leaf salt-tolerance.

**Keywords:** coastal forest, Fv/Fm, *Hibiscus tiliaceus*, LMA, Okinawa Island

## I はじめに

沖縄など亜熱帯地域の海岸林は台風による暴風や飛塩、飛砂などの低減のために重要であり、その保全や造成には様々な樹木の海岸林環境への耐性能力を明らかにする必要がある (9, 10, 14, 15)。特に耐塩性は樹木が海岸林で生存するのに不可欠である (1, 5, 12)。樹木の葉は種により耐塩性が異なり、台風などで飛塩があった場合には耐塩性の低い樹種の樹冠葉の一斉枯損が起き、深刻な場合には枯死に至ることもある (2, 11, 12, 18)。

樹木の葉の耐塩性については、葉内や葉表面への塩類の付着や侵入量と葉の可視的な変色や落葉量から評価する手法が多くみられるが、この方法では光合成など葉の機能面への影響を評価することは難しかった (4, 9, 13)。

葉のガス交換速度を基にした光合成速度の定量化には高価な機械が必要で時間もかかるが、クロロフィル蛍光測定で得られる最大量子収率 (Fv/Fm 値) は光合成系 II の活性を示し、小型の測定器で容易に測定できる。そのため葉の光合成機能の健全性評価に用いられ、Fv/Fm 値を用いた耐塩性の評価への応用も見られる (5, 15, 16, 18)。

一方、多様な樹種の耐塩性の評価には葉の形態などの形質も指標として利用できるかもしれない。これまでの研究で、葉面積当たりの葉重 (LMA) や葉の厚さといった形質と光合成や乾燥耐性などの生理機能との間に密接な関係があることが分かっている (7, 8, 12)。しかし、海岸環境での生存に不可欠な葉の耐塩性と葉形質の関係については不明な点が多い (10, 13, 17)。本研究では沖縄県

の海岸やその周辺に生育しているシマグワやカンコノキなど 14 樹種の葉の形態と Fv/Fm 値を指標とした耐塩性の関係を明らかにすることを目的とした。

## II 材料と方法

**1. 調査地** 沖縄本島北部の名護市喜瀬の海岸から内陸に設置された奥行き 25 m、幅 20 m の毎木調査区で樹木の葉の採取を行った (14)。海岸付近の樹高は数メートルと低い、林帯の内陸側 10 m 以上の地点では樹高が 10m を超えていた (図-1)。2022 年 1 月に海岸林や海岸近くで見られる 14 種の樹木の 3~5 個体から、無傷で成熟した陽葉を 1 個体あたり 2 枚採取し、素早く密閉式のジッパー袋に入れて持ち帰った (表-1)。調査した樹種は沖縄本島ではほぼ常緑であるが、分布の北限地域では短期間落葉する場合もある半常緑のカンコノキ、シマグワ、モモタマナも含まれている (3)。



図-1. 沖縄本島の調査地

Fig.1 Photograph of study site in Okinawa Island.

表-1. 調査樹種の葉面積と葉面積当たりの葉重 (LMA)  
Table 1 Single leaf area and leaf mass per area (LMA) of studied tree species

樹種	学名	葉面積 (cm <sup>2</sup> )	LMA (g m <sup>-2</sup> )
アカテツ	<i>Planchonella obovata</i>	58	140
オオハマボウ	<i>Hibiscus tiliaceus</i>	103	112
オオバギ	<i>Macaranga tanarius</i>	125	53
オキナワキョウチクトウ	<i>Cerbera manghas</i>	63	39
カンコノキ	<i>Glochidion obovatum</i>	6	60
クサトベラ	<i>Scaevola taccada</i>	24	72
クロヨナ	<i>Pongamia pinnata</i>	50	45
シマグワ	<i>Morus australis</i>	115	58
テリハボク	<i>Calophyllum inophyllum</i>	76	107
トベラ	<i>Pittosporum tobira</i>	14	106
ネズミモチ	<i>Ligustrum japonicum</i>	11	102
モモタマナ	<i>Terminalia catappa</i>	109	93
モンパノキ	<i>Heliotropium foertherianum</i>	55	80
リュウキュウコクタン	<i>Diospyros ferrea</i>	14	221

## 2. 測定項目

採取した葉は暗所に保管後、Fv/Fm 値をクロロフィル蛍光測定器 (FP100, FluorPen) で測定した。測定後、霧吹きを用いて海水と水道水を葉の両面が十分濡れている状態になるまで吹きかけ、塩水処理区と対照区とした。処理後 2 日、3 日、9 日後に 1 時間程度の暗順化後の Fv/Fm 値の測定を行い、海水と水道水を再度吹きかけた。ラップをしたトレーに葉と濡れた紙を入れて乾燥を防ぎ、室温 25 度の実験室で保管した。Fv/Fm 値の経時変化は、同じ測定葉の処理前の Fv/Fm 値からの変化率で評価した。測定葉はスキャナー (GTS-640, Epson) で画像をスキャンし画像解析用ソフトウェア LIA32 を用いて葉面積を測定した。また、葉の両面の撥水性を目視で観察し、表面の毛の有無を顕微鏡付きデジタルカメラ (DG-3, Scalar) で調べた。葉は測定終了後に 70°C で 5 日間乾燥後、乾重を測定し葉面積当たりの葉重 (LMA) を求めた。

## III 結果と考察

**1. 葉の形態** 葉面積と LMA は樹種により大きな違いがあった (表-1)。例えば、葉面積は最小のカンコノキ (6 cm<sup>2</sup>) から最大のオオバギ (125 cm<sup>2</sup>) まで 20 倍以上の差が、LMA はオキナワキョウチクトウ (39 g m<sup>-2</sup>) からリュウキュウコクタン (221 g m<sup>-2</sup>) まで 6 倍近い差がみられた。葉の表面の形態にも差があり、葉毛が葉の両面に密生するモンパノキ、葉の裏面のみに密生するアカテツ、オオハマボウがあった (図-2)。

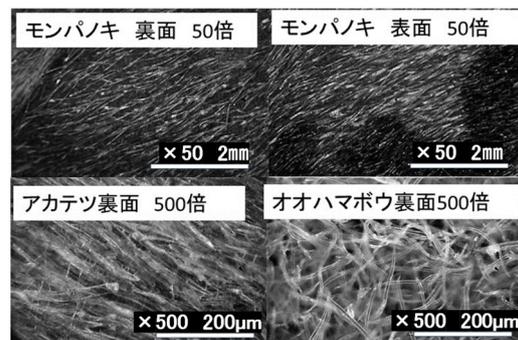


図-2. 葉毛を持つ樹種の顕微鏡写真

Fig. 2 Photograph of leaf trichomes (hairs).

**2. Fv/Fm 値の経時変化** 処理前の Fv/Fm 値は 0.7~0.8 の値を示しており光合成系 II の機能はほとんど損なわれていないと判断された。Fv/Fm 値の経時変化は塩水処理と対照区で異なる樹種とほとんど違いがない樹種の 2 パターンあり、Fv/Fm 値の変化で葉の耐塩性が評価できると考えられた (図-3)。塩水処理後 Fv/Fm 値の低下が顕著だったのは、オオバギ、カンコノキの 2 種で、9 日目の Fv/Fm 値は対照区に比べて有意に低下した (*t*-test, *P* <

0.05)。モモタマナも有意差は無かったものの塩水処理区の方が対照区より 20~40%低い値を示した (図-3)。オオバギやカンコノキは海岸林にも生育するが、汀線か

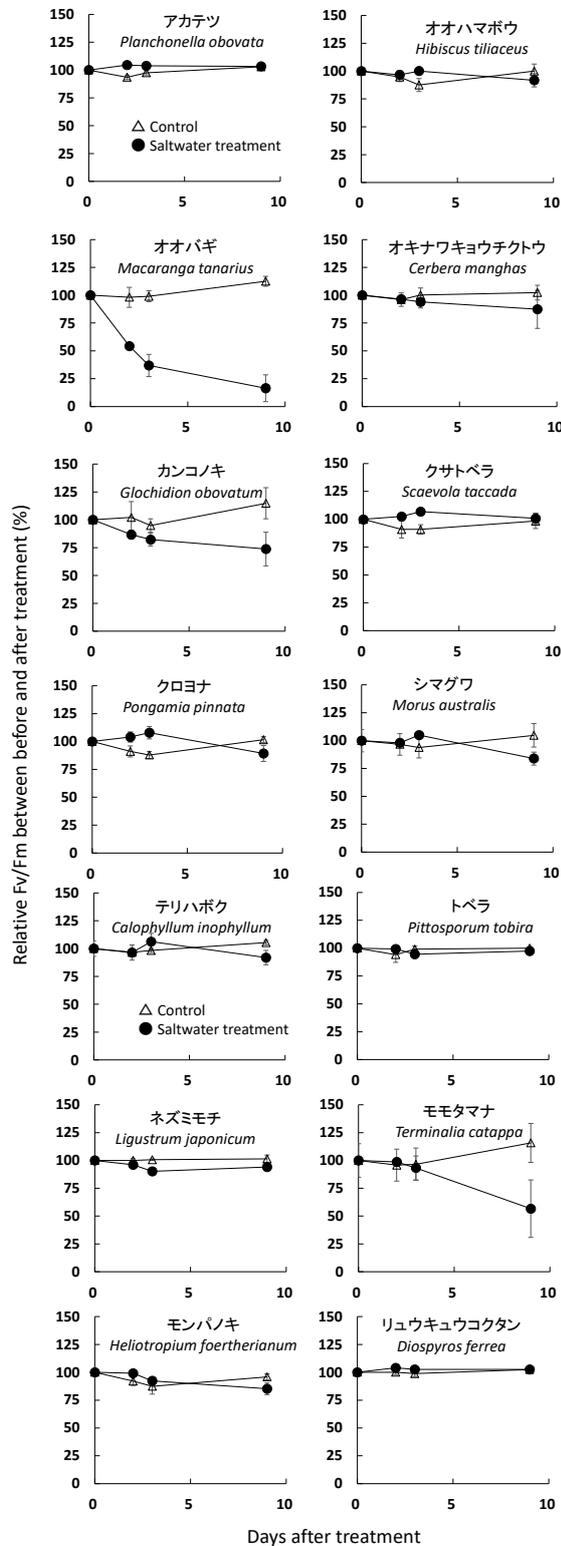


図-3. 14 樹種の Fv/Fm 値の変化  
Fig. 3 Changes of Fv/Fm in 14 tree species.

ら 10 m 以上離れた内陸側のみ分布し耐塩性が低い可能性が示唆されており (14), 今回の試験結果と一致した。一方, リュウキュウコクタンやアカテツなど 11 種は塩水処理と対照区間の差は見られなかった (図-3)。これら 11 種のうち, アカテツ, オオハマボウ, クサトベラ, テリハボク, トベラ, モンパノキなどは汀線付近に生育しており (6, 14), 高い葉の耐塩性と矛盾点は無かった。一方, オキナワキョウテクトウ, シマグワ, リュウキュウコクタン, ネズミモチなどは汀線より 10 m 以上内陸側に主に生育するが (14), 葉の耐塩性は高いと考えられた。これらから, 汀線付近に生育する樹木のほとんどは高い耐塩性を持っているが, 汀線から離れた立地に分布する樹種は葉の耐塩性にはばらつきが大きいと考えられた。

**3. Fv/Fm の変化と葉の形質の関係** 塩水処理 9 日後の Fv/Fm 値の対照区に対する変化率と葉面積や LMA には有意な相関がみられ, 葉の形質と耐塩性に関係がある可能性が示唆された (図-4)。Fv/Fm 値の変化率と葉面積には負の相関があり, 小さい葉を持つ樹種の方が, 塩水処理による Fv/Fm 値の低下が少なく耐塩性が高いことを示していると考えられた。葉が小さいと葉の塩分付着量が少なくなるという報告があり (4), 葉が小さい樹種の方が耐塩性に有利になる理由の一つであると考えられた。一方, Fv/Fm 値の対照区に対する変化率と LMA には有意な正の相関があり, LMA が大きい樹種では Fv/Fm が低下せず耐塩性が高い傾向があった (図-4)。一般的に高い LMA は葉が厚いことを表し, 葉を厚くすることは耐塩性に有利であると考えられる。葉が厚いことは表皮など葉内への塩水の侵入を防ぐ組織の厚さが大きいことと関連している可能性が考えられた (9, 10)。実際, 葉のサイズや外見がよく似ているケヤキと, ケヤキの 2 倍厚いヤシャブシを比較した研究では, ケヤキの耐塩性が大きく劣ることが示されている (13)。

葉毛も塩類をトラップし葉内への侵入を防ぐため耐塩性に関係するという指摘もある (9, 10)。密生毛を持つアカテツ, オオハマボウ, モンパノキと, 毛をほとんど持たない 11 種の間で, 塩水処理区と対照区の Fv/Fm 値の変化率を比較したところ, 有意差は無いが約 20% 毛のない樹種グループの方が Fv/Fm が低下していた (表-2)。

また, 葉の撥水性が高いと葉内への塩類の侵入が抑えられ, 耐塩性を高める可能性がある (9, 10)。しかし, 水を球状に近い形で撥水したオオハマボウ, カンコノキ, シマグワの 3 種と, 撥水が弱い 11 種の Fv/Fm 値の変化率には有意差がなかった (表-2)。オオハマボウとシマグワは高い撥水性で塩類の葉内への侵入が低くなった可能性が考えられるが, カンコノキは塩水処理 9 日後には

Fv/Fm 値が有意に低下しており、撥水性の効果が少ないと考えられる。イチヨウも葉の撥水性が高く、短時間の塩水浸漬では葉内への塩類の侵入は少ないが、大量に塩水を噴霧した際は葉内へ塩類が侵入し5時間後には葉の変色が起こった(13)。カンコノキも軽度の塩水付着に対しては葉の高い撥水性で耐性を持つ可能性が考えられた。

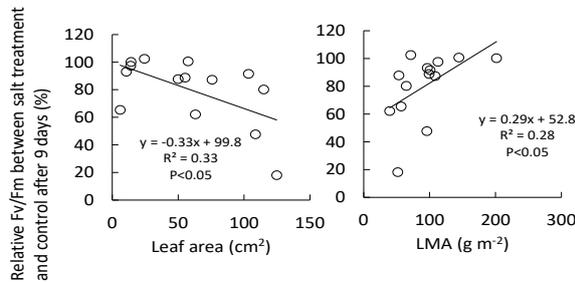


図-4. 塩水処理9日後の対照区に対するFv/Fm値の変化率と葉面積、LMAの関係

Fig. 4 Relative Fv/Fm between salt treatment and control after 9 days (%) in relation to leaf area and LMA.

表-2. 葉毛と撥水性の有無と塩水処理9日後の対照区に対するFv/Fm値の割合

Table 2 Ratio of Fv/Fm value between salt-treatment and control after 9 days (%) of leaf hairs and water-repellent traits

	Hairless	Dense leaf hair	Non-water repellent	Water repellent
Reduction of Fv/Fm (%)	75.5±8.0	93.6±3.6	79.0±8.0	80.4±3.5

4. まとめ 葉の耐塩性は塩水処理後のFv/Fm値の変化から評価でき、同じ海岸林に生育する樹種でもオオバギのように耐塩性が低く海岸林の内部に生育する樹種から、クサトベラのように耐塩性が高く汀線付近に生育する樹種まで大きな差があった。また葉のLMAや葉面積は耐塩性の指標になり、今後さらに内部形態や排塩に関する生理メカニズムなどの研究が必要であると考えられた。

謝辞: 本研究の一部は、「沖縄県における森林分布現況把握と森林タイプ毎の環境・機能観測評価」と国際農研理事長インセンティブプロジェクト「降水量が異なる地域に成立した亜熱帯樹木群集における乾燥レジリエンスの評価」の一環として行った。

#### 引用文献

(1) Boyce SG (1954) The salt spray community. Ecological Monographs 24: 29-67  
 (2) 福田健二 (2019) 千葉市の東京湾岸地域における2011年および2018年の台風による都市樹木の潮風害。

樹木医学研究 23: 215-224

(3) 初島住彦 (1971) 琉球植物誌. 沖縄生物教育研究会  
 (4) 井出久登 (1963) 造園樹木の耐潮性に関する研究. 造園雑誌 27: 18-23  
 (5) 井上美那・香口成美・立石麻紀子・谷口武士・山本福壽・山中典和 (2015) 海水による土壌冠水が東日本太平洋沿岸域に分布する木本植物 17 種の生育に及ぼす影響. 日本緑化工学会誌 41: 73-78  
 (6) 海洋博覧会記念公園管理財団 (1997) 沖縄の都市緑化植物図鑑. 沖縄出版  
 (7) 河合清定・田中憲蔵・漢那賢作・石田厚 (2023) 亜熱帯樹木群集における葉形質の乾燥応答: 種の置き換わりと種内変異に着目して. 関東森林研究 74: 77-81  
 (8) Kenzo T, Mohamad M, Ichie T (2022) Leaf toughness increases with tree height and is associated with internal leaf structure and photosynthetic traits in a tropical rain forest. Frontiers in Forests and Global Change 5: 1002472  
 (9) 幸喜善福 (1970) 海岸付近の樹木の付着塩分量について (III). 沖縄農業 9: 33-38  
 (10) 幸喜善福 (1978) 海岸保全的見地からの沖縄の飛塩に関する研究. 琉球大学農学部学術報告 25: 429-554  
 (11) 小久保亮・菊地健 (2001) 葉への塩分の取り込み量の違いを指標とした樹木の耐塩性の検討. 日本林学会北海道支部論文集 49: 73-75  
 (12) Munns R (2005) Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytologist 167: 645-663  
 (13) 沖中健・菅原恩 (1986) 緑化樹の耐塩性に関する研究: 葉内侵入塩素量を指標として. 千葉大学園芸学部学術報告 38: 93-101  
 (14) 沖縄県農林水産部森林資源研究センター (2022) 海岸防災林の効果向上技術開発業務総括報告書. (公) 沖縄県緑化推進委員会, 193pp  
 (15) 大谷達也 (2023) 西日本の海岸林にみられる 20 樹種の海水浸漬処理による耐塩性比較. 森林立地 65: 3-12  
 (16) Percival GC, Fraser GA, Oxenham G (2003) Foliar salt tolerance of *Acer genotypes* using chlorophyll fluorescence. Arboriculture & Urban Forestry 29: 61  
 (17) 田中憲蔵・飯田真一・清水貴範・漢那賢作・壁谷直記・清水晃 (2022) 琉球諸島の海岸林とマングローブ林を構成する樹木の葉の内部形態. 関東森林研究 73: 77-80  
 (18) 立石麻紀子・辻将大・井上美那・谷口武士・山本福壽・山中典和 (2014) 海水浸漬がタブノキ、アカマツ、クロマツの生理に与える影響の経時変化. 日本緑化工学会誌 40: 54-59

## 積雪が有機物の分解速度と分解者微生物に与える影響

上野美桜<sup>1</sup>・上村真由子<sup>1</sup>・韓 慶民<sup>2</sup>・飯尾淳弘<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 日本大学・<sup>2</sup> 森林総合研究所・<sup>3</sup> 静岡大学

**要旨**：積雪の減少が有機物分解に及ぼす影響を調べることは、地球温暖化が森林の炭素循環に及ぼす影響を明らかにするために必要である。群馬県水上演習林と新潟県苗場国有林において、ブナの落葉と角材を 2021 年春に設置し、積雪前後の 2021 年秋と翌年春及び、2022 年秋と翌年春に回収した。回収した落葉と材の重量変化から分解速度を算出し、菌類と細菌の DNA コピー数や菌類の群集構造を調べた。その結果、積雪により、落葉では細菌の DNA コピー数が増加し菌類の群集構造が変化した。材では OTU 数や特定の機能群の相対優占度が減少した。冬期の分解速度に影響を与える要因は、落葉では地温、材では地温と積雪日数、菌類の DNA コピー数であった。積雪の分解速度への影響は不明瞭であったが、分解者微生物の現存量や群集構造への影響が明らかになった。

**キーワード**：有機物分解、菌類、細菌、積雪、群集構造

### The effect of snow cover on organic matter decomposition rate and decomposer microbes in a cool temperate forest in Japan

Mio UENO<sup>1</sup>, Mayuko JOMURA<sup>1</sup>, Qingmin HAN<sup>2</sup>, Atsuhiko IIO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Nihon University; <sup>2</sup> Forestry and Forest Products Research Institute; <sup>3</sup>Shizuoka University

**Abstract**: The effects of decrease in snow cover on the decomposition process need to be determined to clarify the impact of global warming on the forest carbon cycle. The study was conducted in Minakami Experiment Forest and Naeba National Forest. Beech leaves and blocks were placed in mesh bags, respectively, and set in the spring of 2021. Litter bags were collected in the fall of 2021 and the spring of the following year and in the fall of 2022 and the spring of the following year. Decomposition rate, the number of fungal and bacterial DNA and fungal community structure were determined. As a result, number of bacterial DNA increased and fungal community structure changed by snow cover for leaf samples. The number of fungal Operational Taxonomic Units and specific fungal traits changed by snow cover for wood samples. The factors affecting winter decomposition rate were mean soil temperature for leaf samples and mean soil temperature, snow period and the number of fungal DNA for wood samples. Although the effect of snow cover on decomposition rate was not clarified, the change in the amount and community structure of decomposer microbes by snow cover was determined.

**Keywords**: organic matter decomposition, fungi, bacteria, snow cover, community structure.

## I はじめに

地球温暖化による積雪量や積雪期間の減少が予測されている(3)。積雪は地表面への断熱効果があり、有機物の分解過程に影響を与える要因となる。積雪の減少が有機物分解に与える影響は、冬の寒さの厳しい寒冷地において調査されている(2)。しかし、日本の日本海側のような冬の寒さが厳しくはないが積雪の多い地域での研究例はほとんどない。積雪は有機物の分解の制御要因のうちの環境要因と生物要因を変化させ、分解速度に影響を与えると考えられる(6)。

そこで本研究では、落葉と材という質の異なる有機物を対象に、①積雪が分解者微生物の現存量や種類に与え

る影響の評価と、②冬期の有機物分解速度の制御要因について明らかにすることを目的とした。

## II 材料と方法

**1. 調査地** 調査地は群馬県利根郡みなかみ町にある日本大学水上演習林の標高 860 m 地点と、新潟県南魚沼郡湯沢町にある苗場国有林の標高 550 m・900 m・1500 m の合計 4 か所で、それぞれ 3 地点の反復がある(表-1)。

**2. サンプル** ブナの落葉 (5 g) と角材 (2×2×15 cm, 40 g) を目の粗さが 50 μm のメッシュバックにそれぞれ入れて林床面に設置した。設置は 2021 年の春 (5, 6 月) に行い、サンプルの回収は 2021 年の秋 (10, 11 月)、2022

表-1. 試験地の概要

Table 1 Outline of experimental site

試験地	平均気温 (°C)	平均地温 (°C)	年間降水量 (mm/年) <sup>1)</sup>	積雪日数 (日) <sup>2)</sup>	
				2022年	2023年
水上 860 m	9.5	9.2	1661	106	89
苗場 550 m	10.2	9.0	2251	143	126
苗場 900 m	9.6	8.9	-	163	129
苗場 1500 m	6.1	6.4	-	177	155

<sup>1)</sup>群馬県みなかみと新潟県湯沢のアメダスデータより算出

<sup>2)</sup>2021年6月から2022年5月(2022年)と2022年6月から2023年5月(2023年)の地温が0°Cで安定した期間の日数

年の春(5,6月),夏(8月),秋(11月),2023年の春(4,5月)に行った。回収が複数月に渡るのは,試験地にアクセスできる時期が積雪により異なったためである。4試験地×3地点×5反復×2種類(落葉,材)×5回収分の合計600個のリターバッグを設置した。

**3. 気温と地温の測定** 2021年の5月から2023年6月まで,試験地ごとに気温(高さ1.5m)と地温(A層表面)の計測を行った。どちらも温度ロガー(TR-52i, T&D社製)を用いて,1時間に1度の頻度で測定した。

**4. 重量変化と含水比の測定** 回収したサンプルはリターバッグから出して生重を測定後,凍結乾燥機を用いて落葉は4日間,材は7日間乾燥させ,乾燥重量を測定した。乾燥重量を測定後,落葉はミル(WB-1,大阪ケミカル社製)を用いて粉碎した。材はドリルを用いて木粉にした後,マルチビーズショッカー(MB3000,安井器械社製)を用いて粉碎した。含水比は乾燥重量に対する水分の重量比として求めた。サンプルは,2021年秋と2022年春に回収した落葉と材各60個,2022年夏に回収した落葉と材各24個,2022年秋と2023年春に回収した落葉と材各36個の合計432個とした。

**5. 菌類・細菌類のDNAコピー数** 落葉,材の菌類・細菌類のDNAコピー数を測定するため,定量PCR法を用いた(5)。DNAの抽出にはNuclleoSpin Soil(マッハライ・ナーゲル社製)を用いた。試料の重量は落葉で0.19g,材で0.23gとした。定量PCRには,DNA抽出液を100倍に,2022年秋と2023年春に回収した材のサンプルは10倍に希釈したものを用いた。菌類のプライマーはFF390とFR1,細菌のプライマーは1108Fと1132Rを用いた(5)。菌類は*Hypholoma fasciculare*を,細菌類は*Streptomyces lincolnensis*を組み込んだプラスミドを検量線の作成のために用いた。菌類の増幅は,56°C 2分,95°C 10分の後に95°C 15秒,50°C 30秒,70°C 1分を40サイクル繰り返し,95°C 10分で終了した。細菌の増幅は,

56°C 2分,95°C 10分の後に,95°C 15秒,60°C 1分を40サイクル繰り返し,95°C 10分で終了した。サンプルは,4試験地×3地点×3反復×2種類×4回収時期の288個とした。

**6. 菌類の群集構造** 菌類のみについてITS2領域を対象としたアンプリコンシーケンスにより群集構造を明らかにした。一致度を97%以上として分類し,OTU(Operational taxonomic unit)数や相対優占度を算出した。サンプルは,4試験地×3地点×1反復×2種類×2回収時期の48個とした。

**7. 冬期の分解定数** 試験地,地点ごとに求めた秋期と春期の回収時のサンプルの乾燥重量の平均値と分解日数を用いて,以下の式から冬期の分解定数を算出した(I)。

$$k = \frac{-\ln \frac{DW_f}{DW_s}}{t}$$

$k$ : 分解定数(1/年),  $t$ : 分解時間(年),  $DW_f$ : 秋期回収時の乾燥重量(g),  $DW_s$ : 春季回収時の乾燥重量(g)

**8. 統計解析** すべての統計は,統計解析ソフトウェアR(4)を用いて行った。積雪前後の菌類と細菌類のDNAコピー数や,菌類のOTU数や機能群ごとの相対優占度の比較においては,データの正規性と等分散性を確認後,t検定を行った。菌類の群集構造については,非計量多次元尺度構成法(nMDS)を用いて類似度を比較した。落葉と材で類似度が異なったことから,それぞれについてnMDSを行い,試験地やサンプルの回収時期による影響を明らかにした。冬期の分解速度に対する,冬期の平均地温,積雪日数,菌類と細菌のDNAコピー数の影響を明らかにするために,線形混合モデル(LMM)を用いて解析を行った。2022年と2023年の冬期の分解定数を独立変数,冬期の地温,積雪日数,積雪後の菌類と細菌のDNAコピー数(対数値)を固定効果,試験地内の設置地点を変量効果として解析を行った。

### III 結果と考察

**1. 重量変化** 落葉は材より分解速度が速かった(図-1)。これは,分解者微生物の定着の速度,また溶脱による影響の違いがあったためと考えられる(図-1)。落葉では苗場550mで重量が最も減少し,苗場1500mで重量減少が小さく,苗場では地温が高いほど分解が早い傾向がみられた。一方で,材では苗場900mで重量が最も減少し,苗場1500mで減少が小さくなっており,試験地の地温の傾向と一致しなかった。これは,苗場550mと1500mで材の含水比が高く(含水比:水上860m,0.7±0.2;苗場550m,0.9±0.2;苗場900m,0.7±0.2;苗場1500m,1.1±0.1),過湿な条件が分解を阻害したと考えられた。

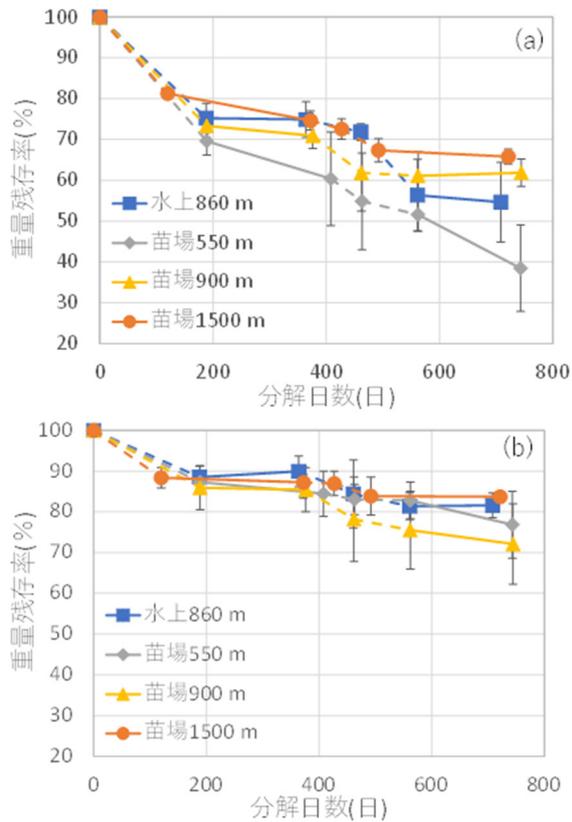


図-1. 落葉(a)と材(b)の試験地ごとの重量残存率 エラーバーは標準偏差を示す。実線は冬期、破線は冬期以外を示す。

Fig.1 Weight loss by site for leaf litter (a) and wood (b). Error bars represent standard deviation. The solid line indicates the winter season, while the dashed line represents the other seasons

**2. 分解者微生物の DNA コピー数** 落葉の DNA コピー数は、菌類、細菌類共に材よりも1桁程度多く(表-2,  $p < 0.01$ )、落葉の方が材よりも分解者微生物の定着が早かった。積雪前後の DNA コピー数は、落葉では菌類が分解2年目、細菌類が分解1年目、2年目ともに積雪後に増加する傾向にあった(表-2)。材では、分解1年目では菌類のみが積雪後に減少したが、2年目では細菌のみが積雪後に増加した。この結果から、積雪が分解者微生物の DNA コピー数に与える影響は、有機物の種類によって異なることが明らかになった。

**3. 菌類の群集構造** 菌類の群集構造は、落葉では試験地と回収時期で有意に異なった(図-2)。材では試験地でのみ有意に異なった。この結果から、積雪が菌類の群集構造に与える影響は、有機物の種類によって異なり、落葉の方で大きいことが明らかになった。

表-2. 積雪前後における菌類と細菌の DNA コピー数

Table 2 DNA copy number of fungi and bacteria before and after snow cover

	落葉		材	
	(n/g) 積雪前	積雪後	積雪前	積雪後
2022年(分解1年目)				
菌類	2.0E+08	3.0E+08 ns	3.0E+07	2.0E+07 **
細菌	5.0E+08	8.0E+08 **	5.0E+07	5.0E+07 ns
2023年(分解2年目)				
菌類	1.3E+08	1.8E+08 **	3.7E+07	4.6E+07 ns
細菌	4.0E+08	7.1E+08 **	1.8E+07	2.4E+07 *

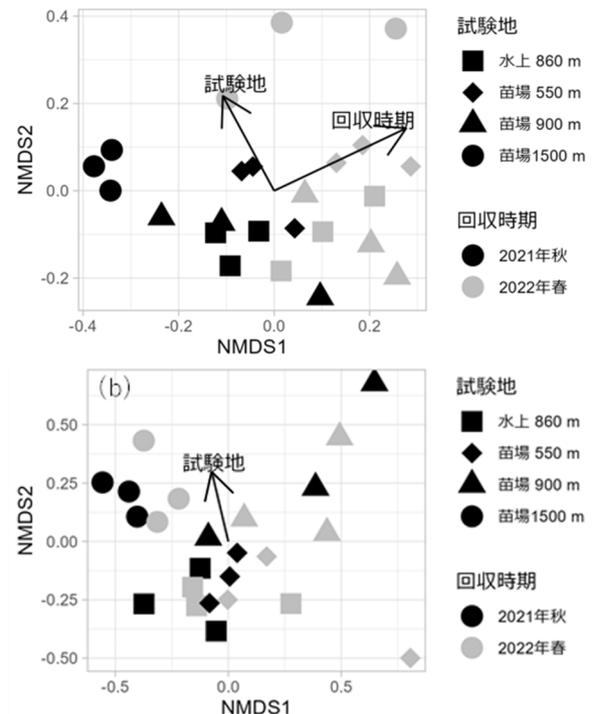


図-2. 分解1年目の積雪前後における落葉(a)と材(b)の菌類の群集構造 矢印は  $p < 0.05$  で影響のあった要因を示す。

Fig.2 Fungal community structure for litter (a) and wood (b). Arrows indicate factors with significant effects.

**4. 菌類の OTU 数と機能群による相対優占度** 菌類の OTU 数は、落葉、材ともに積雪後に減少する傾向があり、材では有意に低下した(表-3)。菌類の機能群による相対優占度を見てみると、材では積雪によってカビが減少していた(表-4)。この結果から、積雪下では木材中の特定の機能群の菌類に影響を与えられた。

**5. 冬期の有機物分解速度の制御要因** 冬期の有機物の分解速度の制御要因は、落葉と材で異なっていた(表-5)。落葉では、冬期の平均地温による影響が有意であ

った。一方材では、冬期の平均地温に加えて、積雪日数と菌類の DNA コピー数による影響が有意であった。落葉と材の分解速度が冬期の地温によって制御されたのは、積雪下での 0 °C の地温に加えて、積雪前後の地温が含まれていたためだと考えられる。また、落葉は薄く質量も小さいので、積雪や雪解けに伴う水分条件の変化や、溶

表-3. 菌類の OTU 数

Table 3 Fungal OTUs number

(n)	落葉		材	
	積雪前	積雪後	積雪前	積雪後
OTU数	427	363 ns	218	159 **

表-4. 積雪前後における菌類の機能群ごとの相対優占度

Table 4 Fungal trait composition before and after snow cover

(%)	落葉		材	
	積雪前	積雪後	積雪前	積雪後
褐色腐朽菌	0.0	0.0 ns	0.0	0.0 ns
白色腐朽菌	0.2	0.7 ns	16.6	17.1 ns
軟腐朽菌	0.6	0.5 ns	7.5	5.8 ns
腐生菌	44.3	44.7 ns	40.3	42.4 ns
カビ	0.0	0.0 ns	0.6	0.0 **
外生菌根菌	0.0	0.2 ns	2.0	2.2 ns
植物病原菌	8.1	9.2 ns	13.6	8.6 ns
その他	46.7	44.7 ns	19.4	23.9 ns

表-5. 線形混合モデルによる冬期の分解速度（独立変数）に対する冬期の平均地温、積雪日数、菌類と細菌の DNA コピー数（説明変数）の結果。地点を混合効果とした。

Table 5 The results of a Linear Mixed Model (LMM) with the response variable being winter decomposition rate and explanatory variables including winter mean soil temperature, snow period, fungal and bacterial DNA copy numbers. The random effect was the sampling point within each site.

	推定値	標準誤差	df	t値	p値
落葉					
切片	3.26	4.79	18	0.68	0.50 ns
冬季の平均地温	0.10	0.04	18	2.62	0.02 **
積雪日数	0.00	0.00	18	0.40	0.69 ns
菌類DNAコピー数	0.12	0.21	18	0.60	0.56 ns
細菌DNAコピー数	-0.51	0.57	18	-0.89	0.38 ns
材					
切片	-1.07	0.43	19	-2.49	0.02 *
冬季の平均地温	0.03	0.02	19	2.17	0.04 *
積雪日数	0.00	0.00	19	2.31	0.03 *
菌類DNAコピー数	0.15	0.04	19	3.87	0.00 **
細菌DNAコピー数	-0.03	0.04	19	-0.64	0.53 ns

脱による影響を受けやすいと考えられ、分解者微生物の群集構造も変化しやすく、材よりも分解を制御する要因が複雑であると考えられた。一方で材では、地温の影響の他に、積雪日数が長く、菌類の DNA コピー数が多いほど分解が進む傾向にあった。積雪後に菌類の OTU 数が減少することや (表-3)、特定の機能群の優占度の減少が観察されていることから (表-4)、材の菌類の群集構造は積雪の環境に適応したものへと変化し、冬期の分解速度に影響を及ぼすものと考えられた。

#### IV まとめ

本研究では積雪によって菌類や細菌類の DNA コピー数や OTU 数、群集構造や特定の機能群の相対優占度が変化することや、有機物の種類によって影響を受ける要因が異なることが明らかになった。積雪が分解者微生物の動態の変化を通して有機物の分解速度にどのように影響を与えるのかについては、さらなる調査が必要だと考えられる。

#### 引用文献

- (1) Chapin SF, Matson PA, Vitousek PM (2011) Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. New York, Springer
- (2) Chen X, Gong L, Zhao J, Zhu H (2020) Litter decomposition, microbial community dynamics and their relationships under seasonal snow cover. Ecol Eng 159: 106089
- (3) 環境省 (2011) IPCC (気候変動に関する政府間パネル) 再生可能エネルギー源と気候変動緩和に関する特別報告書
- (4) R Core Team (2021) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- (5) Šnajdr J, Dobiášová P, Větrovský T, Valášková V, Alawi A, Boddy L, Baldrian P (2011) Saprotrophic basidiomycete mycelia and their interspecific interactions affect the spatial distribution of extracellular enzymes in soil. Fems Microbiol Ecol 78: 80–90.
- (6) Uchida M, Mo W, Nakatsubo T, Tsuchiya Y, Horikoshi T, Koizumi H (2005) Microbial activity and litter decomposition under snow cover in a cool-temperate broad-leaved deciduous forest. Agric For Meteorol 134: 102-109

## 災害伝承の有効性と防災・減災への活用に関する一考察

本田尚正<sup>1</sup>・加藤晴奈<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京農業大学地域環境科学部

**要旨**：本研究では、総務省消防庁が公開している「防災に関わる言い伝え」全 797 件を検討対象として災害伝承を分類し、防災・減災への活用について考察した。災害伝承には大気現象のように科学的・合理的であるものと、未科学的なものや非科学的なものが混在しているため、防災・減災への活用にあたっては科学的視点をもって接することがきわめて重要である。また、地域性や局地性に着目した災害伝承の収集と整理は、災害発生の予知・予測指標を得る上で有用である。さらに、災害伝承の本来の意味を熟知する上では現代用語による解説が必要不可欠である。

**キーワード**：災害伝承、防災・減災、科学的視点、現代用語、地域性・局地性

### A study on effectiveness of disaster tradition and its utilization to disaster prevention and mitigation

Naomasa HONDA<sup>1</sup>, Haruna KATO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

**Abstract**: The present study is to classify disaster traditions and consider the utilization to disaster prevention and mitigation. A number for the examination object is 797 cases which are released by Fire and Disaster Management Agency in Ministry of Public Management as disaster traditions. The following phenomenon is mixed in them; the event that is scientific and rational as an atmospheric phenomenon, the event that we can't explain yet scientifically, and the unscientific phenomenon. It is very importance to receive disaster traditions with a scientific viewpoint on the utilization to disaster prevention and mitigation. It is useful to collect disaster traditions and arrange them paying their attention to regionality and locality on getting the foresight and predictive index of disaster occurrence. It is also necessary to comment by a modern term to understand the original meaning of the disaster tradition.

**Key-word**: Disaster tradition, disaster prevention and mitigation, scientific viewpoint, modern term, regionality and locality

#### I はじめに

近年、異常気象に起因する自然災害の多発化、大規模化の傾向が高まる中であって、防災施設の整備といったハード対策にも増して、何よりもまず人命の確保を目的としたソフト対策、具体的には予知・予測技術や情報伝達技術の向上による早期の警戒避難体制の確立、防災知識の一般普及を目的とした防災教育の充実などの必要性が急速に高まっている(1)。例えば、各種災害ハザードマップの整備はソフト対策の根幹をなすものである(2)。

ソフト対策の効果をより高める上で、個人レベルでの防災意識の向上や日頃の物心両面での備えは欠かせない。法整備面においても、2011年の東日本大震災を契機として2012年には災害対策基本法が改正され、第7条第3項に「国民は災害から得た教訓を伝承するなどして防災に寄与しなければならない」とする努力義務が明記された。

以上を背景として、本研究では災害に関する言い伝えや教訓等(以下、「災害伝承」と称する)に関して、総務

省消防庁「全国災害伝承情報」において47都道府県別に公開されている「防災に関わる言い伝え」全797件(3)を検討対象として災害伝承を分類し、災害伝承の有する特性と防災・減災への活用について考察する。

#### II 災害伝承に関する研究の現状

一般に、災害伝承は「伝承内容(=災害伝承そのもの)」と「伝承行為」によって成り立つ。そのうち後者に関する研究には、津波伝承と避難行動や日頃の備えとの関係に着目した新家らの研究(4)や、水害を祭事で伝承する地域を対象とした佐藤の研究(5)等が挙げられる。

一方、前者については原理が解明されている「科学」、根拠が不十分な「未科学(6)」、斯界の識者に拠っても賛否両論に分かれる「非科学」が混在しており、研究成果も各学問分野に点在している。そのため、災害伝承の学問分野間に共通点を見いだし、線的あるいは面的な繋がりをもって捉えやすく統括することが希求される。

### III 検討手法

まず、全 797 件を次の(1)~(4)のとおり、分類する。

(1)科学的・合理的性質を有すると考えられるもの：①~

⑤(後出の表-1、図-1 参照、以下同じ)(420 件、53%)

このうち、①大気現象は「雨、風、雨と風(含：台風)、晴れ、雪、その他(雷、霜、波、山鳴り等々)」を指す。

(2)生物の異常に関するもの：⑥~⑬(193 件、24%)

このうち、⑬その他は「豊漁」を含む。

(3)その他：⑭、⑮(151 件、19%)

⑭俗信 …「科学的・合理的とはいえないが、多くの人々に受け入れられている考え方や行為」と定義する。

⑮分類不可 …「俗信」の定義に拠ってもなお、説明し  
たい事象。

(4)分類対象外(33 件、4%) … 解読不能のもの。

次に、47 都道府県を「北海道」「五畿七道」「沖縄県」に区分し、災害伝承と発生履歴との関連性を分類する。

以上のデータに基づき、災害伝承の有する特性と防災・減災への活用について考察する。

### IV 結果および考察

**1. 災害伝承の特性に関する考察** 災害伝承の一例を表-1 に示す。いずれも災害の予兆を示す一方、そこから実際に災害が発生するまでの時間には差異がみられる。例えば、地震や土砂災害の発生は突発的であり、小動物の異常行動(地震の予兆)や、植物や腐植土の異臭(土砂災害の予兆)といった伝承は、災害発生直前の避難行動に直結する情報といえる。一方、風水害では観天望気(自然現象や生物の行動の様子などから天気の変化を予測すること)的な伝承が多くみられ、それらは災害発生に対する長短期的な日頃の備えを喚起する情報といえる。以下、全 797 件の分類結果を図-1 に示し、考察する。

(1) 科学的または合理的性質を有すると考えられるもの  
図-1(a)のとおり、全 797 件中 53%と過半数を超えた。

同図(b-1)のとおり、そのうちの 52%が「大気現象」であり、さらに大気現象は同図(b-2)のとおり、「雨(43%)」、「風(14%)」、「雨と風(13%)」の合計で 70%に達した。

上記より、科学技術が未発達だった時代には、経験的に天気を読んで災害発生の予知や備えに役立てることの必要性や重要性が高く、それが雨風に関連した災害伝承を多く生み出した要因になったと推察される。このことは大気現象に次いで避難行動や日頃の備えを喚起する災害伝承が多いことから裏付けられる(表-1 参照)。

(2) 生物の異常に関するもの 図-1(a)のとおり、24%と全体の 1/4 を占めた。同図(c-1)のとおり、節足動物由来の伝承が多いのは、個体ピラミッドの下位にあって絶対数が多いことと、農作業等通じて日常的に見かける機会が現代よりも遥かに多かったことが要因と考えられる。

次いで多い鳥類由来の伝承に関しては、天気を読むため空を見上げる際に発見できることや、目視できなくても鳴き声や巣から存在を認知できるからと考えられる。

節足動物と鳥類に由来する災害伝承では、産卵位置(カマキリ)や営巣場所(カラス、ハチ等)から天気を読むものが目立った。それらの小動物は目視、鳴き声、巣の存在等から人間の活動範囲で認知しやすく、天気予測の指標として利用しやすかったと推察される(表-1 参照)。

生物の異常に由来する伝承を災害発生要因の視点で細分化すると、図-1(c-2)のとおり、大気現象由来の災害との関連性が高いものが 60%を占め、次いでプレート活動由来の災害(多くは地震や津波)との関連性が高いものが 15%となった。生物と災害との因果関係は科学的検証が不十分であるが、先人たちが身近な生き物の行動から災害発生のリスクを読み取ろうとしていたことが窺える。

表-1. 災害伝承の一例

Table 1 An example of disaster tradition

災害伝承の分類	災害伝承の一例
<b>(1) 科学的・合理的性質を有すると考えられるもの (420件, 53%)</b>	
①大気現象 (217件)	【雨】朝虹が出ると大水がある(埼玉県) 【風】一つ雷が鳴ったら油断するな(大風のもと)(山梨県) 【雨と風】台風の前触れは沖(南方)が鳴る(愛知県)
②陸上の避難行動(78件)	・地震が来た、高台に逃げろ(北海道 他) ・風雨の激しい時は逃げてはならぬ、怪我のもと(高知県 他)
③災害への備え(43件)	・竹藪の下に家を作ってはいけない(愛知県 他) ・二階建ての家は、一階
④続く災害への備え(21件)	【土砂災害の前兆】木の根、腐植土の臭いがしたら逃げよ(広島県) ・大地震の後は必ず揺り返しがある(静岡県 他)
⑤その他(61件)	【海上での避難行動】夏北はやて(雷雨)は港に入る (山梨県 他)
<b>(2) 生物の異常に関するもの (193件, 24%)</b>	
⑥節足動物(57件)	・アリが高い所に上がる年には大水が出る(宮崎県)
⑧植物(29件)	・イチヨウの葉が早く落ちた年は大雪(福井県 他)
⑩爬虫類(11件)	・ヘビが木に登れば水害(岩手県)
⑫両生類(8件)	・アマガエルが急に鳴き出すと雨になる(山梨県 他)
⑦鳥類(53件)	・キジが鳴けば地震(山梨県 他)
⑨哺乳類(22件)	・ネズミが騒ぐと地震が来る(神奈川県 他)
⑪魚類(9件)	・ナマズが騒ぐと地震が起きる(山梨県 他)
⑬その他(4件)	【豊漁】超大漁の翌年には大津波が来る(岩手県 他)
<b>(3) その他 (151件, 19%)</b>	
⑭俗信(129件)	【まじない】大風は屋敷に鎌を縛り付けて刃先を風上に向けよ(愛知県 他) 【民話】洪水から人を救った綱下げ松(神奈川県)
⑮分類不可(22件)	【信仰】火事が出ないように荒神様を祭る(長野県 他) 【暦】三の酉まである年は火事が多い(東京都) 【厄災の兆し】彗星は凶事(大雨等)の前兆(埼玉県)
<b>(4) 分類対象外(解読不能のもの) (33件, 4%)</b>	

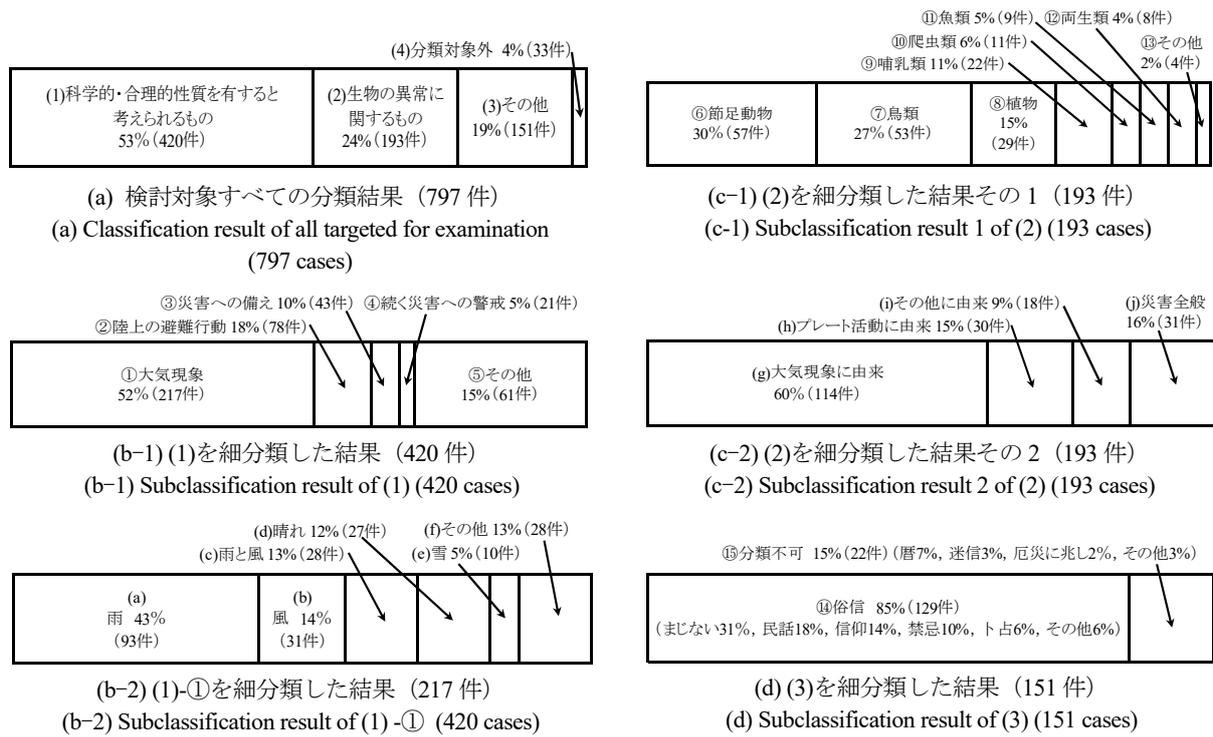


図-1. 災害伝承の分類結果  
Fig.1 Classification result of disaster traditions

表-2. 災害伝承と発生履歴との関連性  
Table 2 Relationship between disaster tradition and past record of disaster

地域 (北海道, 五畿七道, 沖縄県)	災害伝承と発生履歴がリンクする災害種				
	地象災害	水象災害	水象・気象災害	気象災害	その他
【北海道】	地震	津波, 水害			火災
【東山道】 青森・岩手・秋田・宮城・山形・福島・栃木・群馬・長野・岐阜・滋賀	地震, 土砂災害	津波, 水害	風水害	雪害	
【東海道】 茨城・千葉・埼玉・東京・神奈川・山梨・静岡・愛知・三重	地震, 土砂災害	津波, 水害	風水害	風害, 雷害, 干害	
【北陸道】 新潟・富山・石川・福井		水害		雪害	
【畿内】 京都・大阪・奈良		水害			
【山陰道】 鳥取・島根		水害			
【山陽道】 兵庫・岡山・広島・山口	土砂災害	水害	風水害	雷害, 雪害, 霜害, 干害	
【南海道】 和歌山・香川・徳島・高知・愛媛	地震, 土砂災害	津波, 水害	風水害		
【西海道】 福岡・佐賀・長崎・大分・熊本・宮崎・鹿児島	地震	津波, 水害	風水害	風害, 干害	
【沖縄県】		津波	風水害		

(3)その他 図-1(d)のとおり, 「俗信」が全体の85%を占め, 暦起因や迷信等の「分類不可」が15%であった。いずれも科学的とはいえない内容が多く含まれているが, それだけ日常的に凶事に絶えず注意を払い, 災害発生の兆しや原因を知ろうと模索していたことが窺える。

(1)~(3)より, 災害伝承の多くが科学や未科学といえる内容であるという点は, 災害伝承の防災・減災への活用の可能性の高さを示唆している。ただし, 科学的・合理的性質が認められる災害伝承の過半は大気現象に関する内容であり, それらは気象学等の限られた学問領域といえる。そのため, 災害伝承の活用にあたっては, 定量的

に科学的といえる災害伝承の存在は現時点では限定的である, という点に十分留意する必要がある。

2. 災害伝承と発生履歴との関連性に関する考察

地域別の災害伝承と発生履歴との関連性を表-2に示す。いずれの地域も地震や津波, 水害や風水害は災害伝承と災害履歴がリンクする傾向にあることがわかった。それらの自然災害による人的・物的被害は甚大な規模となることが多く, それだけに人々の記憶や印象に強く残るため, 災害伝承が形成されやすかったと推察される。その他, 寒冷地域では雪害や霜害といった寒冷地特有の災害に対する伝承の傾向もみられた。

一般に、自然災害は地域性の強い現象といえる。災害伝承にも地域にある自然物の名称や地名を含むものが多く、地域性を色濃く反映している。一方、災害伝承の多くは警戒すべき現象や取るべき行動をその時代特有の文言で短く表現しており、具体性に欠ける伝承や情報不足の伝承も多々みられる。災害伝承の地域性に着目し、不足情報を適切に補完しつつ、現代社会にも馴染みのある表現表記を工夫することにより、災害伝承の防災・減災への活用可能性はより一層高まると考えられる。

### 3. 災害伝承を現代の防災・減災に活用するための提言

(1) 災害伝承の取り扱いに関する留意事項 災害伝承には、その原理が科学的に解明されているものや合理的なもの、そうでない未科学や非科学なものが混在している。科学的な検証フローを経していない災害伝承を妄信することには命を守る行動の妨げとなる可能性もあり得る。一般社会においても災害伝承の有する「科学性」、「未科学性」、「非科学性」の別を強く意識し、科学的視点をもって接することはきわめて重要である。

他方、経験則として知られているものの原理が解明されていない未科学の災害伝承が淘汰されることなく今日まで継続されていることには、時代に拠らない応分の価値があると評価できる。伝承現象に一定の規則性を見出だした際には仮説を立てて科学的に検証することにより、現代における防災・減災への活用につなげることができる。

(2) 科学的知見の適切な補完による災害情報としての精度向上 災害伝承が単に災害発生に対する長短期的な日頃の備えを喚起する防災啓蒙的な情報に終始することのないよう、伝承が示唆する災害発生の予兆と現代の科学的知見を組み合わせることにより、災害情報としての精度を向上させることができる。

とくに風水害では、伝承が示す予兆現象の確認と連動して短期的な気象予報や直近の雨雲レーダー等の情報、過去に発生した災害事象の情報等を確認することにより、災害伝承だけでは不十分な災害発生直前の情報を補完し、警戒避難体制の迅速な確立につなげることができる。

(3) 災害発生の地域性や局地性に着目した災害伝承の収集と整理の有用性 災害伝承と発生履歴との関連性の高さを活かして、地域性の強い災害伝承を多種多様に収集することにより、局地的に発生する異常気象やそれによる自然災害の予知・予測指標として役立つと考える。

災害伝承には、災害発生や天候の変化を知るための指標・目安が明記されているものが多い。例えば、方位・方角、虹や焼けといった特徴的な現象、地域にある自然物等である。現代においても、気象各社は地域性や局地

性の強い気象情報を一般人の協力を得てリアルタイムで収集・整理し、気象情報として提供している。それらと同等の可能性は、災害伝承の防災・減災への活用においても十分見込めると考えられる。

(4) 災害伝承の現代用語による解説の必要性 災害伝承には、その時代や地域特有の用語や短い言葉（災害の俗称、発生の時季、方位・方角、方言など）による表現が多い。それらは「わかりやすく覚えやすい」といった長所にもなれば、「何を指しているのか具体的に伝わりにくい」といった短所にもなり得る。災害伝承を現代社会の語彙を用いて解説することは、伝承本来の意味を熟知し、防災・減災に活用する上で今後、必要不可欠となる。

## V おわりに

近年、加速度的に進行する少子高齢化を例にとっても、災害伝承の収集や伝承行為の継続は今後ますます困難化するものと推察される。それでも本研究の冒頭で述べたとおり、防災・減災としてのソフト対策が存在感を増していく昨今にあっては、新たな科学技術の開発はもとより、地域社会に昔から存在する災害伝承もまた、利活用の幅の広がりが期待される。その意味において、国民一人ひとりの防災活動への寄与が求められる今日、科学・未科学・非科学との向き合い方を再考する時代に突入したといえる。

## 引用文献

- (1) 本田尚正 (2019) 備えあれば患いなしー自然災害から身を守るためにー。学校法人東京農業大学 新・実学ジャーナル 6月号: 1-2
- (2) 本田尚正・富井直樹 (2023) 群馬県下の市町村における土砂災害ハザードマップの比較考察。関東森林研究 74: 52-55
- (3) 総務省消防庁全国災害伝承情報「防災に関わる言い伝え」[https://www.fdma.go.jp/publication/database/item/database009\\_02\\_02.pdf](https://www.fdma.go.jp/publication/database/item/database009_02_02.pdf) (閲覧日 2023年11月1日)
- (4) 新家杏奈・佐藤翔輔・川島秀一・今村文彦 (2018) 津波伝承による津波の備えやリスク認識・実避難行動への影響ー宮城県気仙沼市の事例ー。土木学会論文集 B2-74-2: I\_499-I\_504
- (5) 佐藤翔輔 (2020) 1967年羽越水害の伝承としての『えちごせきかわ大したもん蛇まつり』の成立・継続・効果に関する調査・考察。自然災害科学 39-2: 157-174
- (6) 池谷元何 (1998) 地震の前、なぜ動物は騒ぐのかー電磁気地震学の誕生。日本放送出版協会、東京。258pp

## 海岸防災林内陸部に異なる条件で植栽した6種の広葉樹の生存率と樹高成長

小林真生子<sup>1</sup>・小森谷あかね<sup>2</sup>・宇川裕一<sup>3</sup><sup>1</sup>千葉県農林総合研究センター森林研究所・<sup>2</sup>千葉県中部林業事務所・<sup>3</sup>千葉県森林課

**要旨:** クロマツの海岸防災林は薬剤散布や伐倒駆除の管理が必要なため、海岸防災林内陸部を広葉樹林に転換する技術が求められている。そこで、海岸防災林内陸部に適した植栽樹種を明らかにするため、6樹種（ウバメガシ、エノキ、モチノキ、タブノキ、シャリンバイ、トベラ）を対象に、客土や下刈りの有無、静砂垣のサイズが異なる6種類の試験区を設定し、9年目の生存率及び樹高成長を調べた。9年目の生存率は、ウバメガシ、エノキ、シャリンバイでは全試験区で70%以上であった。また、ウバメガシ及びエノキの9年目の生存率及び9年目の樹高は全試験区間で有意差がなく、この2種は客土や下刈り、静砂垣のサイズに特別な配慮が必要なく、植栽樹種として有望であると考えられた。

**キーワード:** 海岸防災林、広葉樹、生存率、樹高成長、ウバメガシ

## Survival rate and height growth of 6 broadleaved trees in different conditions in inland coastal barrier forest

Makiko KOBAYASHI<sup>1</sup>, Akane KOMORIYA<sup>2</sup>, Yuichi UGAWA<sup>3</sup><sup>1</sup> Forest Research Institute, Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Institute, <sup>2</sup> Chiba Prefectural Chubu Forestry Administrative Office, <sup>3</sup> Forest Division, Chiba Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Department

**Abstract:** Black pine plantation forests need to be managed with pesticides, and damaged trees need to be removed for the control of pine wilt disease, caused by *Bursaphelenchus xylophilus*. As broadleaved forests can reduce disease control costs, methods for establishing them are required in inland coastal barrier forests. Here we examined the survival rate and height growth of 6 species broadleaved trees—*Machilus thunbergii*, *Ilex integra*, *Celtis sinensis*, *Quercus phillyraeoides*, *Raphiolepis umbellata*, and *Pittosporum tobira*—over 9 years in 6 plots with or without soil dressing, with or without weeding, and with narrow or wide windbreak hedges, to identify appropriate species. Survival rates of *C. sinensis* and *Q. phillyraeoides* by year 9 were >70%, with no significant differences among the plots. Both species do not require soil dressing or weeding and need only a narrow windbreak hedge at planting. Our results indicate that *C. sinensis* and *Q. phillyraeoides* are suitable for inland coastal barrier forests.

**Key words:** broadleaf tree, *Celtis sinensis*, *Quercus phillyraeoides*, windbreak, coastal forest

## I はじめに

千葉県の海岸林ではマツ材線虫病の被害により、多くのクロマツ (*Pinus thunbergii*) が枯死し、その再生が求められている。特に、千葉県東部の太平洋に面した旭市から一宮町にかけて広がる九十九里浜周辺は2011年の東日本大震災時の津波被害も重なり、クロマツ林の衰退が著しい地域となっている。この地域には総延長約37 kmにわたり、総面積約641 haの九十九里海岸県有保安林が指定されている(1)。クロマツは、マツ材線虫病を予防するために、毎年、薬剤散布や伐倒駆除といった防除作業が必要となる(7)が、海岸県有保安林すべてをクロマツで再生した場合、これらの防除費用が膨大となる。また、周辺私有林のクロマツには防除作業を行うことができず、完全にマツ材線虫病を抑えることは難しい。そのため、

海岸県有保安林の内陸部をマツ材線虫病の防除が不要な広葉樹林とするための技術が求められている。

これまで、海岸林で広葉樹を植栽するために、植栽樹種、土壌改良や客土の効果、防風柵の間隔、下刈りの必要性等について検討が行われてきた(2, 3, 6, 8等)。金子・田村(3)は、客土が乾燥害及び貧栄養土壌の改善に効果があり、活着や初期成長に不可欠なことを示し、防風柵の間隔は植栽条件の劣る処理区で効果が限定されることを明らかにしている。宇川・小森谷(8)は、植栽3年後までの生存率及び樹高成長を調べ、客土が効果的であることを示し、下刈り省略の可能性についても示唆した。

海岸の環境は地域によって異なり、適した樹種、広葉樹の導入予算、導入予定箇所の状況は異なる。例えば、千葉県はナシの産地であり、岩見他(2)の研究で海岸前線

部でも成績が良好なカイヅカイブキはナシの赤星病の原因菌の宿主となり、周辺の梨へ被害を出す可能性があるため導入が難しい。また、海岸防災林に適した樹種を明らかにするためには長期的に生存率や樹高成長を調査する必要がある。

本研究では、客土の有無、静砂垣の間隔、植栽初期の下刈りの有無に着目し、下刈りなしで静砂垣の間隔を狭めた調査区、下刈りなしで静砂垣が通常間隔の調査区、下刈りありで静砂垣が通常間隔の3種類の試験区を客土区と無客土区に設定し、合計6種類の異なる条件の調査区に植えた広葉樹6種の植栽9年目までの生存率及び樹高成長から、千葉県海岸防災林内陸部に適した植栽樹種を明らかにすることを目的とする。

## II 調査地及び方法

**1. 調査地** 調査は千葉県山武郡横芝光町の九十九里浜に2015年に作られた試験地で行った(図-1)。この試験地は、宇川・小森谷(8)と同一の試験地で、汀線からの距離は約200m、林帯前縁部からは約100mの位置にあり、林帯と汀線の間には高さT.P.6mの砂丘が築設されている。調査区は8m×8mを基本サイズとし、客土区と無客土区を作り、それぞれに、静砂垣の間隔を狭め、下刈りをしない区(図-2 A, D)、下刈りをしない基本サイズの区(図-2 B, E)、下刈りをする基本サイズの区(図-2 C, F)、の3種類の区を3区ずつ設けた。なお、静砂垣を狭めた区では静砂垣を汀線に平行に1本入れ、調査区を8m×4mの区に2分した。



図-1. 試験地  
Fig. 1 Study area

下刈りは植栽1年目の8月は誤伐を防ぐために、草本類が繁茂した客土区のC区のみ刈刈を行った。植栽1年目の10月以降は客土区のC区及び無客土区のF区の両区で行い、1年目の10月は機械刈、植栽2年目から5年目の7月は手刈りにより行った。植栽6年目以降は全ての試験区で下刈りは行わなかった。

本試験地の造成時は海側が無立木地もしくは同時に植栽したクロマツ林であったため、潮風を緩和するために調査地の周囲を高さ2mの防風ネットで覆った(図-2)。

植栽木は千葉県に自生する樹種を中心に選定し、タブノキ(*Machilus thunbergii*)、モチノキ(*Ilex integra*)、エノキ(*Celtis sinensis*)、ウバメガシ(*Quercus phillyraeoides*)、シャリンバイ(*Raphiolepis umbellata*)、トベラ(*Pittosporum tobira*)の6種とした。

**2. 調査方法** 生存率及び樹高の調査は冬枯れの影響がわかる5月~6月に行った。樹高調査は、当年度に展

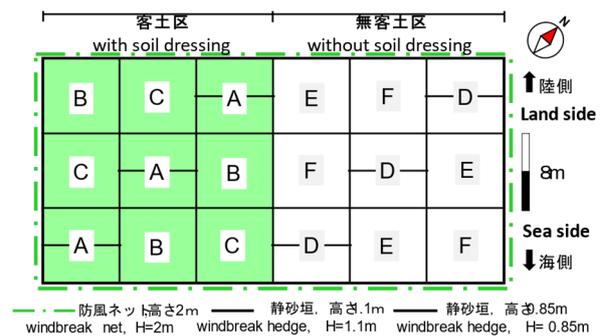


図-2. 調査地概要

A 客土有, 静砂垣を調査区の中中に1本追加で配置  
B 客土有 C 客土有, 下刈り有 D 客土無, 静砂垣の間隔8×4m E 客土無 F 客土無, 下刈り有

Fig. 2 Study plots

A, additional windbreak hedge in plot with soil dressing;  
B, soil dressing only; C, soil dressing + weeding; D, additional windbreak hedge in plot without soil dressing;  
E, control; F, weeding.

開した枝の成長分は測定せず、前年度の成長分のみを測定した。生存率及び樹高は6種類の調査区の違いを見るために、樹種ごと、調査年別に、解析を行った。生存率はフィッシャーの正確確率検定を用い Bonferroni 法による補正を行った。樹高の解析は Shapiro-wilk 検定で正規性の検定を行ったうえで正規分布の場合は Tukey-Kramer 法、正規分布しない場合は Steel-Dwass 法を用いた。統計ソフトは R4.3.1(4)を使用した。

## III 結果

**1. 調査区ごとの生存率** 調査年ごとの6種類の調査区における樹種別の生存率を表1に示す。エノキ、ウバメガシでは植栽9年目まで、全ての調査区で統計的な違いは見られなかった。

タブノキは植栽3年目の2017年までは客土区の方が無客土区よりも統計的に有意に生存率が高かった。

モチノキは植栽2年目の2016年及び植栽6年目の2022年以降は客土区の方が無客土区よりも統計的に有意に生存率が高かった。

シャリンバイは植栽5年目まで全ての調査区で生存率に統計的な違いは見られなかったが、植栽6年目の2020年以降は調査区間で違いがみられ、客土区で静砂垣の間隔を狭めたA区と下刈りのないB区は、無客土区で下刈りのあるF区よりも統計的に有意に生存率が高かった。

トベラは植栽6年目の2020年までは客土区で静砂垣の間隔を狭めたA区と下刈りのないB区では、無客土区で下刈りのあるF区よりも統計的に優位に生存率が高かったが、植栽7年目の2021年以降は全調査区で統計的な違いはなかった。

表-1. 樹種別, 調査区別の 2016 年から 2023 年までの生存率 (%) 異なる記号のグループでは  $p < 0.05$  水準で有意に異なる。  
Table 1 Survival rate of each species in each plot in each year

樹種 species	調査区 plots	年ごとの生存率 survival rates of each year							
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
タブノキ <i>Machilus thunbergii</i>	A	88 a	75 a	88 a	83 a	54 a	54 a	33 a	38 a
	B	75 a	71 a	63 ab	58 ab	46 ab	42 ab	33 a	29 a
	C	63 a	75 a	63 ab	58 ab	42 ab	29 ab	33 a	25 a
	D	9 b	9 b	13 c	17 bc	4 c	4 b	4 a	4 a
	E	17 b	17 b	21 bc	13 c	8 bc	4 b	0 a	4 a
	F	17 b	17 b	17 c	13 c	4 c	8 b	8 a	8 a
モチノキ <i>Ilex integra</i>	A	100 a	100 a	100 a	100 a	92 a	88 a	88 a	83 a
	B	96 a	96 ab	96 a	96 a	96 a	96 a	96 a	96 a
	C	88 a	92 abc	96 ab	88 ab	67 a	67 a	67 a	63 a
	D	17 b	46 d	42 bc	33 bc	21 b	8 b	4 b	4 b
	E	8 b	63 bcd	58 bc	50 bc	13 b	8 b	8 b	8 b
	F	25 b	54 cd	46 c	38 c	25 b	8 b	4 b	4 b
エノキ <i>Celtis sinensis</i>	A	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	96 a	92 a	92 a
	B	100 a	100 a	100 a	100 a	96 a	96 a	92 a	92 a
	C	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
	D	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	96 a	92 a	92 a
	E	100 a	100 a	100 a	96 a	92 a	92 a	92 a	83 a
	F	100 a	100 a	100 a	92 a	83 a	83 a	83 a	83 a
ウバメガシ <i>Quercus phillyraeoides</i>	A	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
	B	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
	C	96 a	96 a	96 a	96 a	96 a	96 a	96 a	96 a
	D	88 a	88 a	88 a	88 a	88 a	88 a	88 a	88 a
	E	83 a	83 a	83 a	83 a	83 a	83 a	83 a	83 a
	F	88 a	88 a	79 a	79 a	79 a	79 a	79 a	79 a
シャリンバイ <i>Raphiolepis umbellata</i>	A	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
	B	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
	C	98 a	98 a	98 a	98 a	98 ab	98 a	96 a	94 ab
	D	96 a	96 a	96 a	94 a	92 ab	92 ab	92 ab	77 ab
	E	100 a	98 a	98 a	96 a	94 ab	92 ab	90 ab	77 ab
	F	88 a	88 a	88 a	83 a	81 b	67 b	73 b	71 b
トバラ <i>Pittosporum tobira</i>	A	100 a	100 a	92 a	85 a	75 a	38 a	29 a	25 a
	B	100 a	98 ab	90 ab	81 ab	60 ab	38 a	35 a	29 a
	C	88 ab	77 bcd	69 bcd	60 abc	46 ab	31 a	25 a	23 a
	D	92 ab	92 ab	79 ab	69 abc	50 ab	27 a	23 a	23 a
	E	94 ab	83 abc	71 abc	54 bc	42 b	15 a	15 a	17 a
	F	71 b	56 c	46 c	40 c	23 b	13 a	13 a	15 a

2. 調査区ごとの樹高 植栽 9 年目までの樹種ごとの樹高の推移を図-3 に, 植栽 1 年目と 9 年目の樹種ごと, 調査区ごとの平均樹高及び標準誤差を表-2 に示す。

タブノキは植栽 5 年目の 2019 年までは全ての調査区で樹高が減少したが, 2020 年以降は減少や増加を繰り返した (図-3)。植栽 9 年目の 2023 年には植栽時よりも平均樹高が下がった調査区もあった (表-2)。

モチノキは植栽 4 年目までは客土有で静砂垣の間隔を

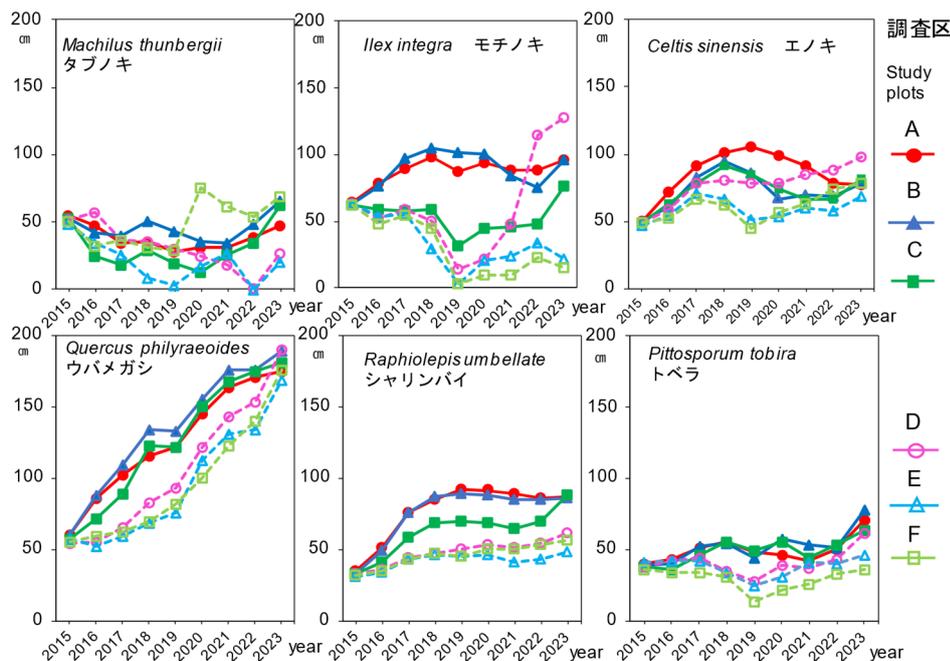


図-3. 植栽後 9 年目までの各樹種の調査区ごとの平均樹高の推移

Fig. 3 Trends in mean tree heights in each plot

表-2. 2015 年と 2023 年の平均樹高と標準誤差 異なる記号のグループでは  $p < 0.05$  水準で有意に異なる。  
Table 2 Mean tree height  $\pm$  standard error in 2015 and 2023

樹種 species	調査区 plots	平均樹高と誤差 average of tree height and standard error in each year					
		2015			2023		
		平均樹高 average of tree height	S.E.	n	平均樹高 average of tree height	S.E.	n
タブノキ	A	55 $\pm$ 1.2	24 a	47 $\pm$ 19.2	9 a		
	B	53 $\pm$ 1.0	24 ab	66 $\pm$ 21.9	7 a		
	C	53 $\pm$ 1.2	24 ab	63 $\pm$ 10.6	6 a		
	D	51 $\pm$ 0.9	23 ab	27 $\pm$ 0.0	1 a		
	E	48 $\pm$ 1.1	24 bc	20 $\pm$ 0.0	1 a		
	F	51 $\pm$ 1.5	24 ab	69 $\pm$ 27.2	2 a		
モチノキ <i>Ilex integra</i>	A	64 $\pm$ 1.8	24 a	96 $\pm$ 11.6	20 a		
	B	63 $\pm$ 1.2	24 a	96 $\pm$ 12.4	23 a		
	C	62 $\pm$ 1.5	24 a	76 $\pm$ 17.7	15 a		
	D	63 $\pm$ 1.9	23 a	127 $\pm$ 0.0	1 a		
	E	63 $\pm$ 2.6	24 a	22 $\pm$ 5.7	2 a		
	F	62 $\pm$ 1.5	24 a	15 $\pm$ 0.0	1 a		
エノキ <i>Celtis sinensis</i>	A	50 $\pm$ 1.4	24 a	78 $\pm$ 10.3	22 a		
	B	51 $\pm$ 1.5	24 a	79 $\pm$ 8.9	22 a		
	C	49 $\pm$ 1.5	24 a	82 $\pm$ 7.5	24 a		
	D	49 $\pm$ 1.3	23 a	98 $\pm$ 11.8	22 a		
	E	47 $\pm$ 1.6	24 a	69 $\pm$ 9.7	20 a		
	F	49 $\pm$ 2.5	24 a	79 $\pm$ 8.6	20 a		
ウバメガシ <i>Quercus phillyraeoides</i>	A	61 $\pm$ 2.3	24 a	175 $\pm$ 9.0	24 a		
	B	60 $\pm$ 1.8	24 a	189 $\pm$ 10.4	24 a		
	C	57 $\pm$ 2.0	24 a	81 $\pm$ 8.3	23 a		
	D	55 $\pm$ 1.8	24 a	190 $\pm$ 10.0	21 a		
	E	57 $\pm$ 2.1	24 a	168 $\pm$ 9.9	20 a		
	F	55 $\pm$ 2.1	24 a	176 $\pm$ 9.0	19 a		
シャリンバイ <i>Raphiolepis umbellata</i>	A	35 $\pm$ 0.6	48 a	87 $\pm$ 5.0	48 a		
	B	33 $\pm$ 0.6	48 a	86 $\pm$ 5.6	48 a		
	C	33 $\pm$ 0.8	48 ab	88 $\pm$ 6.2	45 a		
	D	33 $\pm$ 0.6	48 b	61 $\pm$ 5.7	41 b		
	E	31 $\pm$ 0.7	48 b	48 $\pm$ 3.6	41 b		
	F	32 $\pm$ 0.8	48 b	57 $\pm$ 6.0	34 b		
トバラ <i>Pittosporum tobira</i>	A	40 $\pm$ 0.8	48 a	70 $\pm$ 8.4	12 a		
	B	39 $\pm$ 1.0	48 ab	78 $\pm$ 10.1	14 a		
	C	38 $\pm$ 1.0	48 ab	64 $\pm$ 7.0	11 a		
	D	38 $\pm$ 0.9	48 ab	61 $\pm$ 11.1	11 a		
	E	41 $\pm$ 0.9	48 a	46 $\pm$ 11.4	8 a		
	F	36 $\pm$ 0.9	48 b	36 $\pm$ 5.3	7 a		

狭めた A 区及び普通区の B 区で樹高成長が見られたが, その後, 横ばいもしくは微減であった。また, 無客土で静砂垣の間隔を狭めた D 区では植栽 5 年目の 2019 年か

ら樹高が増加した (図-3)。植栽 9 年目には平均樹高が植栽時よりも減少した区もあったが, 調査区間で差は見られなかった (表-2)。

エノキは植栽 3 年目までは全ての調査区で樹高の増加がみられたが, その後, 植栽 8 年目の 2022 年から 9 年目の 2023 年にかけては全ての調査区で微増した (図-3)。植栽 9 年目の樹高は全ての調査区で植栽時を上回り, 調査区間で差は見られなかった (表-2)。

ウバメガシは植栽 9 年目の 2023 年まで全ての調査区で樹高成長が見られ (図-3)、平均樹高は植栽時の 3 倍ほどになり、調査区間で差は見られなかった (表-2)。

シャリンバイは、2019 年まで全ての調査区で樹高成長がみられたが、その後は横ばいや微増であった (図-3)。2023 年の客土区の平均樹高は無客土区よりも統計的に有意に高く ( $p < 0.05$ ) 30 cm ほど高かった。

トベラは植栽 4 年目の 2018 年までは樹高が増加したが、その後は増減を繰り返し、植栽 8 年目の 2022 年から 9 年目の 2023 年にかけては再び増加した (図-3)。植栽時の 2015 年の樹高は、統計的に有意な差が見られたが、植栽 9 年目の樹高に差は見られなかった (表-2)。

#### IV 考察

タブノキ、トベラは客土や下刈りの有無、静砂垣の間隔に関わらず、どの調査区でも生存率 40%以下と低く、タブノキ、トベラを植栽するには、客土を行い静砂垣の間隔を狭めるだけでは不十分であった。金子・田村(3)は、秋田県の海岸域における広葉樹の分布を調べ、タブノキ林が風衝地では成立が困難なことを考察している。本試験地にタブノキを植栽するには、防風対策を含めより好適な植栽条件を今後検討する必要がある。

植栽 9 年目のモチノキの生存率は客土区では無客土区よりも統計的に有意に高く、モチノキを植栽する場合は、客土が必要であると考えられた。また、客土区間の A、B、C 区間は統計的な差がなく、客土を行えば、静砂垣の間隔を狭める必要がなく、宇川・小森谷(8)が指摘するように下刈りを省略できると考えられる。樹高成長に関しては調査区間で統計的な違いは見られなかった (表-2)。これは、無客土区の生存個体数が少なかったため調査区間で統計的な有意差が見られなかったと考えられる。また、無客土で静砂垣間隔を狭めた D 区で 1 本ではあるが、1.2 m ほどの個体が生存していることから、静砂垣を狭める等の防風対策を行い、活着することができれば無客土でも静砂垣の高さには樹高が成長する可能性がある。

シャリンバイは植栽 6 年目以降、調査区間で生存率の違いが見られた。特に、無客土で下刈りのある F 区で生存率が低かった (表-1)。F 区の生存率はどの樹種も低い傾向があり、植栽後時間がたつにつれ、周辺樹種が衰退することで、他の植栽木による防風効果がなくなり、より乾燥や潮風の影響を受ける環境になったことで、生存率が下がった可能性がある。今後、周辺樹木の関係や植生の被度とシャリンバイの生存率の関係を調べ、シャリンバイの生存率が下がった原因を解明する必要がある。

ウバメガシ及びエノキは全ての調査区において生存率

が 79%以上あり、植栽 9 年目の樹高も各試験区間で差は見られなかった (表-2)。ウバメガシの実生は乾燥ストレス下では成長を抑え葉面積当たりの蒸散量を抑えることで乾燥耐性を持つ(4)ため、ウバメガシは乾燥耐性が強く、海岸部でも生存率が高かったと考えられる。また、エノキは雨が少なくなる冬場に落葉するため、冬場の枯死が少なく、生存率が高かった可能性がある。これまで、広葉樹植栽には客土が必要なことや客土が効果的なことが報告されているが(3,6,8)、この 2 種に関しては、客土無し、下刈りなし、通常の静砂垣の間隔でも千葉県九十九里浜の海岸防災林内陸部では植栽可能と考えられる。

どの樹種もほぼ全ての調査区で植栽 8 年目から 9 年目に樹高成長が見られた (図-3)。本試験地の海側に隣接するクロマツ林は、植栽 9 年目には高いところで 5 m ほどの樹高となっている。そのため、その後背部に位置する本試験地の広葉樹の樹高も成長した可能性がある。今後、前線部クロマツ林の樹高成長とその後背部の広葉樹の生存率や樹高成長との関係を明らかにすることが、広葉樹林を低コストで造成するために重要である。

#### 引用文献

- (1) 千葉県農林水産部森林課 (2012) 千葉県海岸県有保安林整備指針 (九十九里地区). 千葉県, 27pp
- (2) 岩見洋一・井坂達樹・細田浩司・津田裕司・山口晶子 (2016) 茨城県の海岸林最前線広葉樹等導入試験地における植栽 13 年後の生育状況. 関東森林研究 67 (1): 85-88
- (3) 金子智紀・田村浩喜 (2007) 広葉樹を活用した海岸防災林造成技術の開発. 秋田県農林技術センター森林技術センター研究報告 17: 37-60
- (4) Oo MZ, Nakao T, Gyimah R (2003) Physiological and morphological responses of four tree species used in dry zone of Myanmar and Uba oak to progressive drought stress. Bull. of faculty Agri., Miyazaki University 49: 59-67
- (5) R Core Team (2023) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.
- (6) 佐藤渉・武田宏・平松芳明 (2020) 海岸砂丘地における客土割合の異なる広葉樹の生育状況. 関東森林研究 71 (1): 109-112
- (7) 森林総合研究所 (2006) 森林被害対策シリーズ No.1 「松くい虫」の防除戦略 マツ材線虫病の機構と防除. 独立行政法人森林研究所, 14pp
- (8) 宇川裕一・小森谷あかね (2019) 広葉樹を用いた海岸防災林造成における客土の効果と下刈り省略の可能性. 関東森林研究 70 (1): 97-100

## ブナが優占する冷温帯落葉広葉樹林における 夏季の土壤水分の減少が熱フラックスに与える影響

生田海斗<sup>1</sup>・小坂 泉<sup>1</sup>・定元太智<sup>1</sup>・畑岸萌香<sup>1</sup>・白井琴乃<sup>1</sup>・瀧澤英紀<sup>1</sup>・阿部和時<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 日本大学生物資源科学部

**要旨:** ブナが優占する冷温帯落葉広葉樹林における熱フラックスの変動特性と土壤水分の低下が熱フラックスに与える影響を明らかにするため、群馬県北部に位置する日本大学水上演習林において 2023 年 1 月から 8 月の期間で渦相関法によるフラックスの連続観測を実施した。観測期間中の 2023 年 7 月下旬の少雨とそれに伴う土壤含水率の著しい低下によって、以降の期間に樹木の蒸散抑制が生じたと考えられ、それによる潜熱フラックスの減少がみられた。表面コンダクタンス( $g_c$ )も土壤水分の低下に伴って減少したが、飽差の増加に対する  $g_c$  の減少割合には大きな変化は見られなかった。このことより、本試験地における夏季の土壤水分の著しい低下は、飽差の増加に対する  $g_c$  の感度を上昇させるよりも、全体的に  $g_c$  を低下させるような影響を与えていることが示唆された。

**キーワード:** 潜熱フラックス, 渦相関法, 表面コンダクタンス, 飽差, 土壤水分

### Effects of summer soil moisture reduction on heat fluxes in a cool-temperate *Fagus crenata*-dominated deciduous broadleaf forest

Kaito IKUTA<sup>1</sup>, Izumi KOSAKA<sup>1</sup>, Taichi SADAMOTO<sup>1</sup>, Moeka HATAGISHI<sup>1</sup>, Kotono SHIRAI<sup>1</sup>,

Hideki TAKIZAWA<sup>1</sup>, Kazutoki ABE<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Bioresource Sciences, Nihon University

**Abstract:** We examined heat flux variability in a cool-temperate deciduous broad-leaved forest dominated by *Fagus crenata* and assessed the effects of decreased volumetric soil water content. Heat fluxes were monitored continuously from January to August 2023, using the eddy covariance method in Nihon University Forest, Gunma Prefecture, Japan. The results showed that the low rainfall in late July and the subsequent significant decrease in volumetric soil water content caused transpiration suppression in the trees during the following period, resulting in a decrease in latent heat flux. Surface conductance ( $g_c$ ) also decreased with decreasing soil moisture, but the ratio of the decrease in  $g_c$  to the increase in vapor pressure deficit did not change significantly. This suggests that the significant reduction in summer soil moisture at this site affects the overall decrease in  $g_c$  rather than an increase in the sensitivity of  $g_c$  to increases in vapor pressure deficit.

**Keywords:** latent heat flux, eddy correlation method, vapor pressure deficit, surface conductance, soil moisture

### I はじめに

現在、温暖化などの気候変動による環境変化 (例えば、気温上昇や干ばつ) に対する森林の応答特性を評価するために、微気象学的手法の一つである渦相関法による大気と森林間の熱や二酸化炭素の交換量(フラックス)に関する測定が世界各地で実施されている(2)。筆者らは、松井ら(5)により今後の気候変動の影響を強く受けると予測されているブナ(*Fagus crenata*)が優占する冷温帯落葉広葉樹林において、渦相関法による熱フラックスの連続観測を実施している(4)。既往研究として、顕熱フラックス( $H$ )と潜熱フラックス( $IE$ )の季節変化は調査地の地表面の変化を反映し、展葉が終了する 6 月以降では  $IE$  が  $H$

を上回るが、落葉後の 11 月以降では  $H$  が  $IE$  を上回る傾向がみられること(7)、 $H$  と  $IE$  の和( $H+IE$ )と純放射量( $Rn$ )と貯熱量( $G$ )の差( $Rn-G$ : 有効エネルギー)との関係は、風向により系統的に異なることが報告され(1)、本試験地における熱フラックスの特徴が明らかになりつつある。

気象庁の報告(3)によると、2023 年夏季(6 月から 8 月)の平均気温は、1898 年の統計開始以降の最高値となった。本試験地でも、2023 年夏季の気温が 30 °C 以上になることが多く、7 月下旬以降の降水量が極めて少なく、土壤水分の著しい減少が観測された。このような平年と異なる気象環境において、ブナが優占する冷温帯落葉広葉樹林の熱フラックスの変動特性を評価することは、今後の

気候変動に応じた大気—森林間の相互作用や、森林の環境応答特性を理解するうえで重要になると考えている。

そこで本研究では、2023年1月から8月の測定データに基づき、熱フラックスの変動特性を評価し、平年と異なる気象環境、特に夏季の土壌水分の減少が森林群落の応答特性を示す指標の1つである表面コンダクタンスに与える影響を明らかにすることを目的とする。

## II 材料と方法

**1. 調査地概要と測定方法** 観測地は群馬県利根郡みなかみ町の日本大学水上演習林(36°48'N, 139°02'E)であり、ブナ(*F. crenata*)を優占種として、ミズナラ(*Quercus crispula*)やコナラ(*Quercus serrata*)などの平均樹高15m程度の落葉広葉樹が混在している。一般気象および熱フラックスの測定は高平山の山頂(標高985m)に建設された6mの観測塔で行われた。急な斜面勾配で円錐形を呈した山頂周辺に生育する樹高2m程度の樹木の樹冠を超えた観測塔の先端に、超音波風速温度計(CSAT3, Campbell)およびOpen-Path型CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O分析器(EC150, Campbell)を設置し、0.1秒の測定間隔で出力される3次元風速、気温、CO<sub>2</sub>濃度およびH<sub>2</sub>O濃度のデータをデータロガー(CR1000, Campbell)に記録し、渦相関法によりH(W m<sup>2</sup>)およびIE(W m<sup>2</sup>)を算出した。平均化時間は30分である。詳細なフラックスの算定や解析方法については小坂ら(4)を参照されたい。

観測塔の6mの高さに温湿度センサー(HMP155, Vaisala)を用いて気温 $T_a$ (°C)と湿度(%)を計測し、観測塔の頂上に放射収支計(NR01, Hukseflux)および日射計(CMP-3, Kipp & Zonen)を設置し、それぞれで $Rn$ (W m<sup>2</sup>)および全天日射量 $S_t$ (W m<sup>2</sup>)を計測した。 $G$ (W m<sup>2</sup>)を計測するため、熱流計(PHF-01, REBS)を深度5cmに設置した。山頂の観測塔から水平距離で西へ100m程度離れた地点に設置された2mの観測塔に日射計(CMP-3, Kipp & Zonen)を設置し、林床日射量 $S_i$ (W m<sup>2</sup>)を計測した。これらの測定項目については、10秒毎に出力されるデータを10分平均した値をデータロガー(CR1000, Campbell)に記録させた。本研究では、 $S_i$ に対する $S_t$ の比である負の対数値(NLRs)を相対的な葉面積と定義し、次式で算定した(6)。

$$NLR_S = -\ln(S_i/S_t) \quad (1)$$

土壌含水率 $\theta$ (m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>)および地温 $T_s$ (°C)の計測では、TDR土壌水分センサー(CS650, Campbell)を深度10cmに設置し、30分毎の瞬間値をデータロガー(CR1000, Campbell)に記録させた。降水量は高平山山頂から北へ直線距離でおよそ6km離れた藤原 AMeDAS(36°52'N, 139°04'E, 標高700m)のデータを使用した。

**2. 解析方法** 2023年1月から8月までに得られた有効エネルギー( $Rn-G$ )値と( $H+IE$ )値の30分平均値の両者を線形回帰して得られた近似式を以下に示す。

$$H+IE = 1.14(Rn-G) + 3.25 \quad (R^2 = 0.75) \quad (2)$$

この近似式の傾きを熱収支の充足率(closure ratio; CR)とすると、その値は1.14となった。このことは、渦相関法で算定された熱フラックスの方が有効エネルギーよりも14%大きくなることを意味する。2016年1月から9月に取得したデータを用いた解析結果ではCRが1.18となり(1)、今回の結果とほぼ同様であった。本研究では、熱収支インバランスをゼロにするため、ボーエン比クロージャー法(8)を適用し、渦相関法で算定された $H_{eddy}$ と $IE_{eddy}$ から求められるボーエン比( $H_{eddy}/IE_{eddy}$ )が補正後も保たれると仮定して、次式で $H$ と $IE$ を補正し、補正された $H$ と $IE$ を解析に使用した。

$$H = H_{eddy} (Rn - G) / (H_{eddy} + IE_{eddy}) \quad (3)$$

$$IE = IE_{eddy} (Rn - G) / (H_{eddy} + IE_{eddy}) \quad (4)$$

本研究では、Penman-Monteith式の表面抵抗( $r_c$ )の逆数を表面コンダクタンス( $g_c$ )とし、以下の式で算出した。

$$g_c^{-1} = r_c = \frac{r_a \Delta (Rn - G) + \rho C_p \{e_s(T_a) - e_a\}}{\gamma IE} - (\Delta/\gamma + 1) r_a \quad (5)$$

ここで、 $r_c$ は表面抵抗(s m<sup>-1</sup>)、 $r_a$ は空気力学的抵抗(s m<sup>-1</sup>)、 $\Delta$ は飽和水蒸気圧曲線の傾き(hPa K<sup>-1</sup>)、 $\rho$ は空気の密度(kg m<sup>-3</sup>)、 $C_p$ は定圧比熱(J kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>)、 $e_s(T_a)$ は $T_a$ に対する飽和水蒸気圧(hPa)、 $e_a$ は水蒸気圧(hPa)、 $\gamma$ は乾湿計定数(hPa K<sup>-1</sup>)を表す。本研究では、高さ6mの風速 $u$ (m s<sup>-1</sup>)および摩擦速度 $u_*$ (m s<sup>-1</sup>)を用いた $u/u_*^2$ より $r_a$ を算出した。解析期間は、2023年1月1日から8月31日までとした。

## III 結果と考察

**1. 一般気象および熱フラックスの経時変化** 図-1は、2023年1月から8月の日降水量( $P$ )および $\theta$ の日平均値、日中(10時から14時)の値を平均した $T_a$ および $T_s$ 、 $Rn$ 、飽差( $VPD$ )、 $NLRs$ 、 $H$ 、 $IE$ 、 $IE/(H+IE)$ および $g_c$ の季節変化である。図-1中の黒丸は日中平均値、白丸は5日平均値を示す。1月から7月には断続的な降水がみられ、 $\theta$ は0.2 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>前後で変動したが、7月下旬の少雨により、 $\theta$ が著しく減少した。但し、8月の降雨イベントに対する $\theta$ の変動がほとんど見られない。これは、本調査地から約6km離れた箇所の降水量であるため、本調査地における実際の降水量は、その量に比べ少なく、降水が林床にあまり到達しなかったことに起因するかもしれない(図-1a))。 $T_s$ が0°C付近から急激に上昇する日(3月12日)は消雪日と考えられ、積雪量が平年より少なかったことを

反映して通常よりも早い消雪となった (図-1b)。Rn および VPD の値は冬季に小さく、4月以降で大きくなった。7月下旬の Rn および VPD の日中平均値は、それぞれ約

700 W m<sup>-2</sup> および約 20 hPa で安定しており、晴天で大気が乾燥していたと考えられる (図-1c, d)。NLRs は 4 月下旬から増加を開始し 5 月下旬にはほぼ一定となったこと

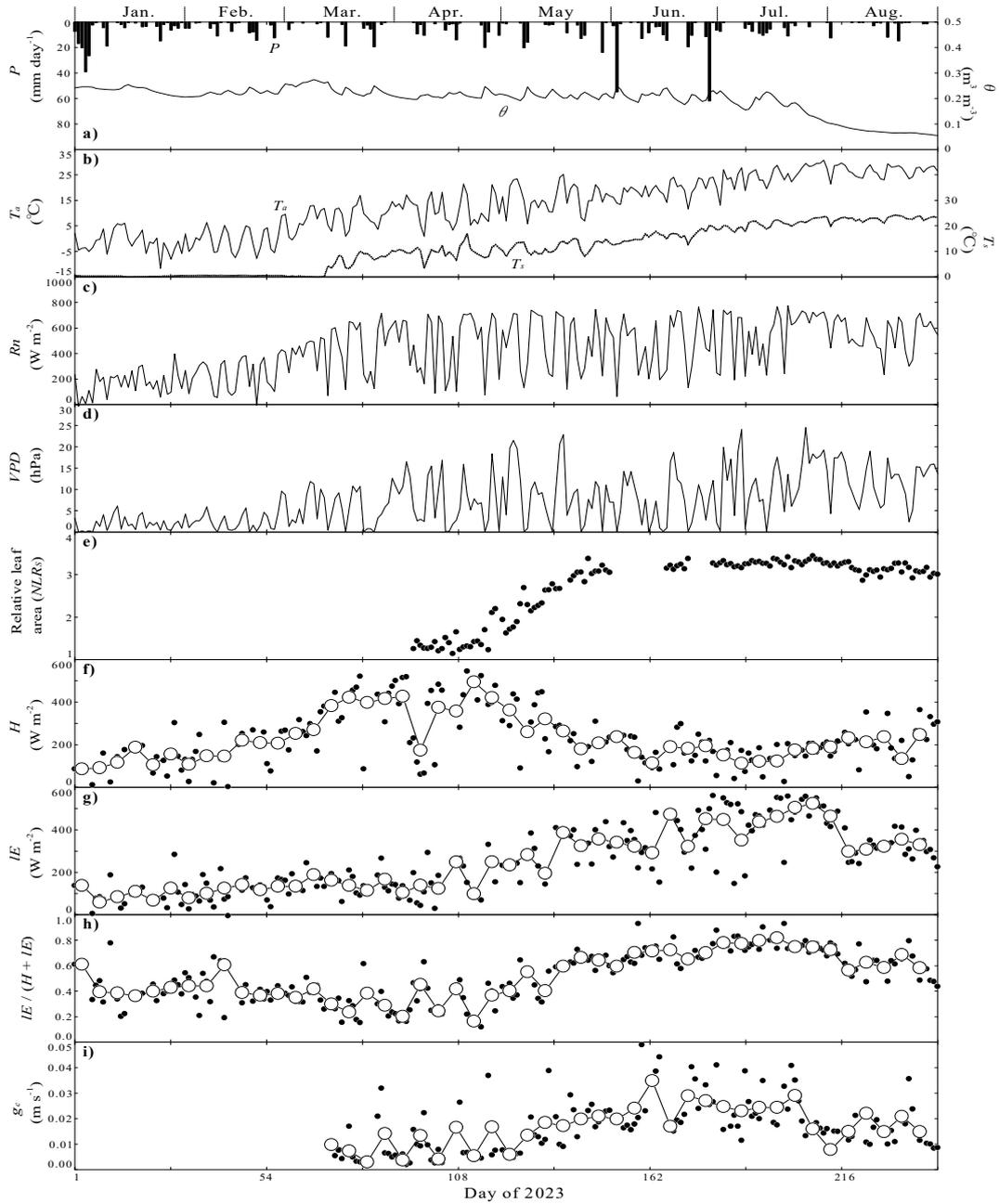


図-1. 2023 年 1 月から 8 月における a)降水量(P)および日平均土壌含水率( $\theta$ ), 日中(10時~14時)平均した b)気温( $T_a$ )および地温( $T_s$ ), c)純放射量( $R_n$ ), d)飽差( $VPD$ ), e)相対的な葉面積( $NLR_s$ ), f)顕熱フラックス( $H$ ), g)潜熱フラックス( $IE$ ), h)熱フラックスの総和に対する潜熱フラックスの割合[ $IE / (H + IE)$ ], i)表面コンダクタンス( $g_c$ )の季節変化

Fig. 1 Seasonal changes in (a) daily precipitation ( $P$ ; bars, left scale) and daily mean volumetric soil water content at a depth of 10 cm ( $\theta$ ; lines, right scale), (b) midday (10:00–14:00) averaged air temperature ( $T_a$ ; solid lines, left scale) and soil temperature ( $T_s$ ; dashed lines, right scale), (c) net radiation ( $R_n$ ), (d) vapor pressure deficit ( $VPD$ ), (e) daily negative logarithmic values of the ratio of short wave radiation ( $S$ ) at the forest floor to that above the canopy [ $-\ln(S_f / S_i)$ ;  $NLR_s$ ], (f) sensible heat flux ( $H$ ), (g) latent heat flux ( $IE$ ), (h) ratio of  $IE$  to the sum of  $H$  and  $IE$  [ $IE / (H + IE)$ ], and (i) surface conductance ( $g_c$ ) (black circles are midday mean values and white circles are mean values over 5 days).

から、この期間に展葉が開始～終了したと考えられた。また、 $NLR_s$ は7月下旬以降に若干の減少が見られた(以上、図-1e)。 $H$ は消雪日である3月12日以降に急激に増加し、4月にピークがみられた。その後 $H$ は減少傾向を示し、6月から7月中旬は $200 \text{ W m}^{-2}$ 前後で推移していたが、7月下旬以降に僅かに増加した(図-1f)。 $IE$ 、 $IE/(H+IE)$ および $g_c$ は概ね同様の季節変化を示し(図-1g, h, j), これらの値は展葉開始後の4月下旬から増加を開始し、6月から7月中旬における $IE/(H+IE)$ は0.7~0.8となったが、7月下旬以降に急激に減少した。このことより、展葉開始後~7月中旬は樹木による活発な蒸散が生じており、一方7月下旬以降は土壌水分量の著しい減少と大気乾燥が気孔の閉鎖を引き起こし、蒸散が大きく低下したと考えられた。

**2. 表面コンダクタンスと飽差の関係** 図-2は、7月から8月において $R_n$ が $500 \text{ W m}^{-2}$ 以上の条件で得られた $g_c$ と $VPD$ の関係を示す。本研究では、土壌水分の状態が $g_c$ と $VPD$ の関係に与える影響を評価するため、 $g_c$ と $VPD$ が変動幅をもち、かつ両者のデータ数が同程度になるように、 $\theta$ の閾値を決定した。上段に全データ( $n=273$ )を灰色丸印で、下段に土壌が著しく乾燥した状態である $\theta$ が $0.07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ 以下のデータ( $n=68$ )を白色丸印で、土壌が比較的湿潤な状態である $\theta$ が $0.18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ 以上のデータ( $n=$

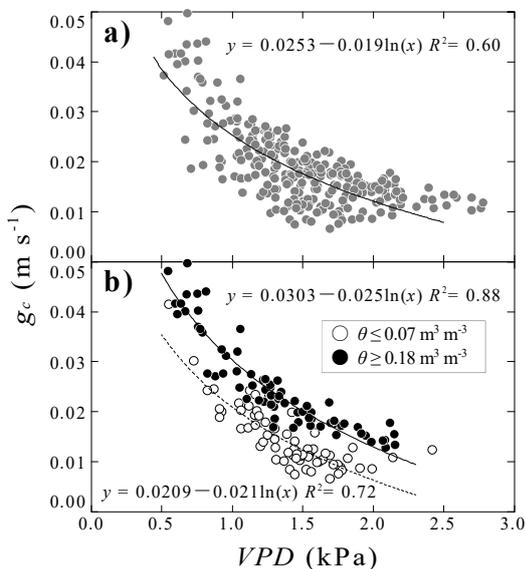


図-2. 表面コンダクタンス( $g_c$ )と飽差( $VPD$ )の関係

Fig. 2 Relationship between surface conductance ( $g_c$ ) and vapor pressure deficit ( $VPD$ ) under light-saturated conditions ( $R_n > 500 \text{ W m}^{-2}$ ) for (a) all data (gray circles) and (b) two volumetric soil water content ( $\theta$ ) classes (white circles represent data for  $\theta \leq 0.07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  and black circles represent data for  $\theta \geq 0.18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) for July–August 2023.

70) を黒色丸印で示す。図中に示された近似曲線の対数近似式 $[y=b-m\ln(x)]$ の $m$ は $VPD$ に対する $g_c$ の感度を表す。図-2a)において $g_c$ は $VPD$ の増加に伴い減少し、図-2b)において $g_c$ は土壌水分の低下に伴って減少する傾向が見られたが、 $m$ の値は $\theta \leq 0.07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ の条件で0.021、 $\theta \geq 0.18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ の条件で0.025となり、 $VPD$ の増加に対する $g_c$ の減少割合には大きな変化は見られなかった。このことより、本試験地における夏季の土壌水分の著しい低下は、 $VPD$ の増加に対する $g_c$ の感度を上昇させるよりも、全体的に $g_c$ を低下させるような影響を与えていることが示唆された。

## 引用文献

- (1) 浅香渉・小坂泉・野中翔平・瀬戸萌子・高松美月・瀧澤英紀・阿部和時 (2017) 山岳域の冷温帯落葉広葉樹林における熱収支インバランスについて. 関東森林研究 68(2): 193–196
- (2) Baldocchi D, Falge E, Gu L, Olson R, Hollinger D, Running S, Anthoni P, Bernhofer C, Davis K, Evans R, Fuentes J, Goldstein A, Katul G, Law B, Lee X, Malhi Y, Meyers T, Munger W, Oechel W, Paw UKT, Pilegaard K, Schmid HP, Valentini R, Verma S, Vesala T, Wilson K, Wofsy S (2001) FLUXNET: A new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem-scale carbon dioxide, water vapor and energy flux densities. Bull Am Meteorol Soc 82: 2415–2434
- (3) 気象庁: 日本の季節平均気温.  
[https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/sum\\_jpn.html](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/sum_jpn.html) (2023.11.13 参照)
- (4) 小坂泉・野中翔平・大塚羽純・関崎良美・田口裕也、清水伸大・瀧澤英紀・阿部和時 (2016) 冷温帯落葉広葉樹林における渦相関法によるフラックスの連続観測. 関東森林研究 67(1): 77–80
- (5) 松井哲哉・田中信行・八木橋勉・小南裕志・津山幾太郎・高橋潔 (2009) 温暖化にともなうブナ林の適域の変化予測と影響評価. 地球環境 14(2): 165–174
- (6) 野中翔平・小坂泉・川口美優・瀧澤英紀・阿部和時 (2015) 冷温帯落葉広葉樹林におけるLAIの季節変化. 関東森林研究 66(2): 107–110
- (7) 高木麻衣子・小坂泉・佐々木千鶴・岡村源太郎・瀧澤英紀・阿部和時 (2015) 冷温帯落葉広葉樹林における熱フラックスの季節変化. 関東森林研究 66(2): 285–288
- (8) Twine TE, Kustas WP, Norman JM, Cook DR, Houser PR, Meyers TP, Prueger JH, Starks PJ, Wesely ML (2000) Correcting eddy-covariance flux underestimates over a grassland. Agric For Meteorol 103: 279–300

## 冷温帯および暖温帯に植栽されたブナのカス交換と葉の特徴

畑岸萌香<sup>1</sup>・小坂 泉<sup>1</sup>・白井琴乃<sup>1</sup>・松倉君子<sup>1</sup>・太田祐子<sup>1</sup>・瀧澤英紀<sup>1</sup>・阿部和時<sup>1</sup><sup>1</sup> 日本大学生物資源科学部

**要旨:** 冷温帯の水上試験地と暖温帯の藤沢試験地に植栽されたブナのカス交換と葉の特徴を明らかにするため、両試験地において個葉の光合成速度( $A$ )と気孔コンダクタンス( $g_s$ )を測定し、葉面積当たりの乾燥重量(LMA)と気孔密度を求めた。その結果、測定期間における  $A$  および  $g_s$  の最大値は、水上試験地より藤沢試験地で大きかった。藤沢試験地の  $g_s$  の分布範囲は、水上試験地のものに比べ約 2 倍大きかった。藤沢試験地における LMA および気孔密度は、水上試験地のものに比べ、それぞれ 1.72 倍および 1.79 倍高かった。水上試験地を産地とする藤沢試験地のブナは、葉の形態を適応させて、暖温帯の気候に順化していることが示唆された。

**キーワード:** ブナ, 光合成速度, 気孔コンダクタンス, LMA, 気孔密度

Gas exchange and leaf characteristics of *Fagus crenata* planted in cool- and warm-temperate zones in JapanMoeka HATAGISHI<sup>1</sup>, Izumi KOSAKA<sup>1</sup>, Kotono SHIRAI<sup>1</sup>, Kimiyo MATSUKURA<sup>1</sup>,Yuko OHATA<sup>1</sup>, Hideki TAKIZAWA<sup>1</sup>, Kazutoki ABE<sup>1</sup><sup>1</sup>College of Bioresource Sciences, Nihon University

**Abstract:** We investigated the gas exchange and leaf characteristics of *Fagus crenata* planted in the cool-temperate Minakami experimental forest (hereafter, Minakami) and the warm-temperate Fujisawa experimental forest (Fujisawa) in Japan. At both sites, we measured the photosynthetic net assimilation rate ( $A$ ), stomatal conductance of water vapor ( $g_s$ ), leaf mass per area (LMA), and stomatal density of individual leaves. The maximum  $A$  and  $g_s$  values were greater at Fujisawa than Minakami. The distribution range of  $g_s$  at Fujisawa was about two times that at Minakami. At Fujisawa, LMA and stomatal density were 1.72 times and 1.79 times those at Minakami, respectively. These findings suggest that the *F. crenata* individuals at Fujisawa, which originated from Minakami, have acclimatized to the warm-temperate climate via leaf morphology adaptations.

**Keywords:** *Fagus crenata*, photosynthetic net assimilation rate, stomatal conductance, leaf mass per area, stomatal density

## I はじめに

ブナ(*Fagus crenata*)は日本の冷温帯を代表する樹種の1つであり、暖温帯と冷温帯の境界は日本のブナ林の分布下限と概ね一致することが知られているが(4)、暖温帯の気候区に属する関東平野北部の八溝山地中部において、例外的にブナ林が確認されている(1)。片桐ら(3)の先行研究によれば、神奈川県南部に位置する暖温帯の藤沢試験地に植栽されたブナの水利用効率は、Iio *et al.* (2)により報告されている冷温帯のより高標高のものに比べ高いことを報告している。ブナの葉レベルの乾燥耐性については、葉の水分特性だけでなく形態レベルでも変化を導くことが示されている(6)。このため、ブナはカス交換や葉の形態的な特性を順化させ、冷温帯より高温で乾燥する暖温帯でも生育できる可能性があると考えている。

そこで本研究では、暖温帯の環境条件で生育しているブナの生理的な環境応答特性および葉の形態的形質が、

冷温帯のものに比べてどのような違いがあるか実証的に評価することを念頭におき、冷温帯の水上試験地と暖温帯の藤沢試験地に植栽されたブナ成木の個葉の光合成速度と気孔コンダクタンスを測定し、葉面積当たりの乾燥重量(LMA; Leaf Mass per Area)および気孔密度を調べた。

## II 材料と方法

**1. 調査地** 冷温帯の調査地は、群馬県利根郡みなかみ町に位置する水上試験地(36°47'40"N, 138°59'13"E, 標高 540 m)である。水上試験地から約 10 km 北東方向に位置する藤原 AMeDAS (36°51'48"N, 139°03'30"E, 標高 700 m)の気象データを用いて求められた 2001 年から 2020 年の年平均降水量と年平均気温は、それぞれ 1,802 mm と 9.3 °C である。

暖温帯の調査地は、神奈川県藤沢市に位置する藤沢試験地(35°22'42"N, 139°28'08"E, 標高 40 m)である。藤沢

試験地から約 6.5 km 南方向に位置する辻堂 AMeDAS (35°19'12"N, 139°27'00"E, 標高 5 m)の気象データを用いて求められた 2001 年から 2020 年の年平均降水量と年平均気温は、それぞれ 1,460 mm と 16.7 °Cである(7)。

2. 調査項目 水上試験地での測定対象木は、水上実習

所の玄関付近に植栽された樹齢 65 年、樹高 17.7 m、胸高直径 36.0 cm の単木のブナ(産地: 水上)である。藤沢試験地での測定対象木は、森林科学研究センターの玄関付近に植栽された樹齢 45 年、樹高 9.7 m、胸高直径 27.1 cm の単木のブナ(産地: 水上)である。

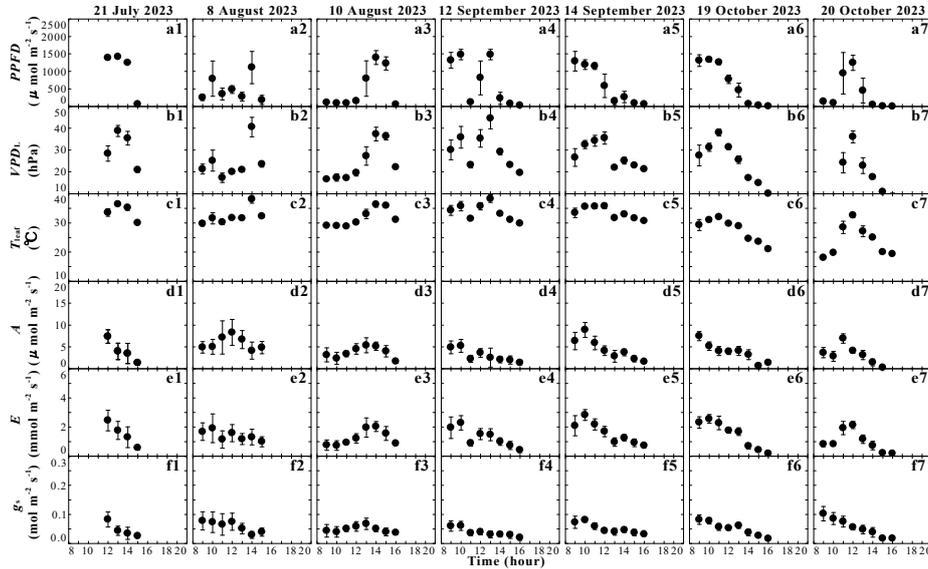


図-1. 2023 年 7 月から 10 月の水上試験地における a) 光合成有効光量子束密度(PPFD), b) 葉面飽差(VPD<sub>L</sub>), c) 葉温(T<sub>leaf</sub>), d) 光合成速度(A), e) 蒸散速度(E) および f) 気孔コンダクタンス(g<sub>s</sub>)の日変化

Fig. 1 Diurnal changes in (a) photosynthetic photo flux density (PPFD), (b) leaf-to-air water vapor deficit (VPD<sub>L</sub>), (c) leaf temperature (T<sub>leaf</sub>), (d) photosynthetic net assimilation rate (A), (e) transpiration rate (E), and (f) stomatal conductance of water vapor (g<sub>s</sub>) during July–October 2023 at the Minakami experimental forest. Error bars indicate standard deviation.

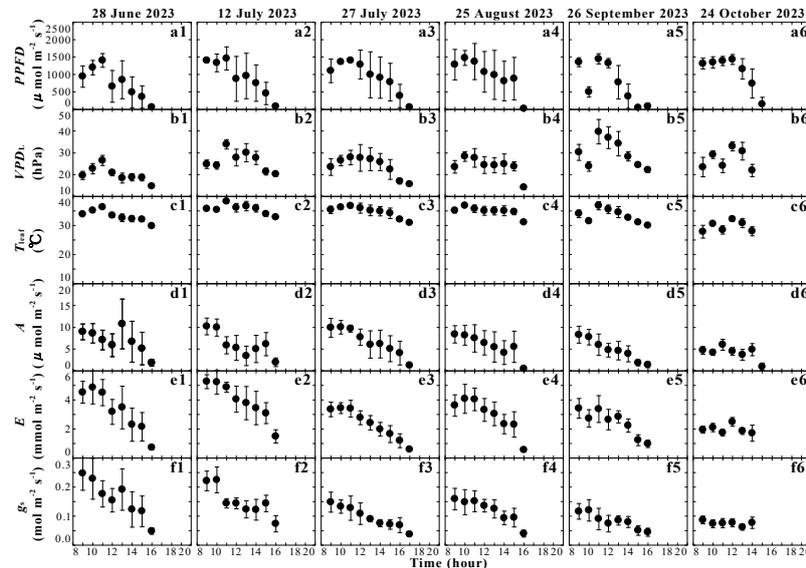


図-2. 2023 年 6 月から 10 月の藤沢試験地における a) 光合成有効光量子束密度(PPFD), b) 葉面飽差(VPD<sub>L</sub>), c) 葉温(T<sub>leaf</sub>), d) 光合成速度(A), e) 蒸散速度(E) および f) 気孔コンダクタンス(g<sub>s</sub>)の日変化

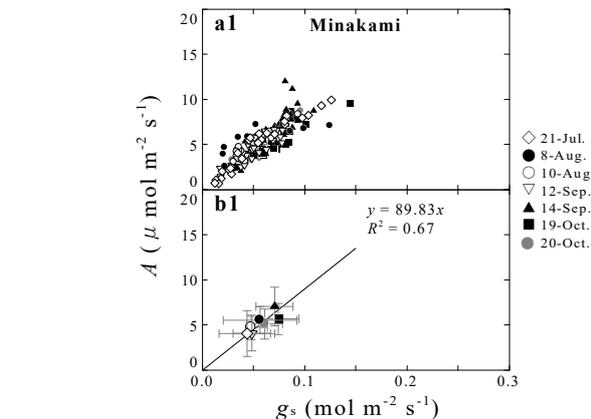
Fig. 2 Diurnal changes in (a) photosynthetic photo flux density (PPFD), (b) leaf-to-air water vapor deficit (VPD<sub>L</sub>), (c) leaf temperature (T<sub>leaf</sub>), (d) photosynthetic net assimilation rate (A), (e) transpiration rate (E), and (f) stomatal conductance of water vapor (g<sub>s</sub>) during June–October 2023 at the Fujisawa experimental forest. Error bars indicate standard deviation.

個葉上の光合成および蒸散速度の測定は、携帯型光合成蒸散測定装置(LI-6400, LI-COR)を用いて、対象木に隣接する施設の屋上で行われた。水上試験地では地上から5 m 付近の南側の樹冠部において9枚、藤沢試験地では地上から6 m 付近の東側、南側および西側の樹冠部において、それぞれ3枚ずつ計9枚を対象とし、日当たりのよい枝の先端部の葉を選定した。この装置で計測される項目は、光合成有効光量子束密度(PPFD)、葉温に対する飽和水蒸気圧から水蒸気圧の差である葉面飽差(VPD<sub>L</sub>)、葉温(T<sub>leaf</sub>)、光合成速度(A)、蒸散速度(E)および気孔コンダクタンス(g<sub>s</sub>)である。本研究では、g<sub>s</sub> に対する A の比(A/g<sub>s</sub>) を水利用効率(iWUE; intrinsic Water Use Efficiency)とする。測定方法の詳細は、矢ヶ崎ら(7)を参照されたい。測定実施日は、水上試験地では2023年7月21日、8月8日、8月10日、9月12日、9月14日、10月19日および20日であり、藤沢試験地では2023年6月28日、7月12日、7月27日、8月25日、9月26日および10月24日であり、9時から日の入りまで1時間に1回の頻度で行った。

葉の形態的な特徴を調べるため、両試験地においてそれぞれ5枚の葉をランダムに採集した。葉面積の測定は、フラットベッドスキャナー(ES-10000G, EPSON)と画像解析ソフトウェア (ImageJ 1.53, USA)を使用した。気孔密度の測定は SUMP 法を適用し、1枚の葉について背軸面の先端部、中央部および下部においてレプリカを作成し、光学顕微鏡を用いて気孔の数を調べ、1 mm<sup>2</sup> 当たりの密度に換算した。LMA は 80 °C で 72 時間以上乾燥させた葉の乾燥重量と葉面積から求められた。

### III 結果と考察

#### 1. 各測定項目の日変化



月に水上試験地で測定されたデータであり、上段から PPFD, VPD<sub>L</sub>, T<sub>leaf</sub>, A, E および g<sub>s</sub> の日変化を示す。図中の黒点は、9枚の葉をチャンバーで挟んだ際に測定された各測定項目の平均値を示し、エラーバーはそれらの標準偏差を示す。図-1 a, b および c で示された日中の PPFD, VPD<sub>L</sub> および T<sub>leaf</sub> について、雲の影響によりばらつきがあるものの PPFD が 1,000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> 以上の場合、VPD<sub>L</sub> は 30 hPa 以上、T<sub>leaf</sub> は 30 °C 以上のデータが多くみられた。図-1 d, e および f で示された各測定日の A, E および g<sub>s</sub> は概ね同様の日変化を示し、A, E および g<sub>s</sub> の最大値は、それぞれ 8.9 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 2.8 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> および 0.10 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> 程度であった。

図-2 は、2023年6月から10月に藤沢試験地で測定されたデータであり、形式などは図-1と同様である。図-2 a, b および c で示された日中の PPFD, VPD<sub>L</sub> および T<sub>leaf</sub> については、12時前後でピークを示し、PPFD が 1,000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> 以上、VPD<sub>L</sub> は 30 hPa 以下、T<sub>leaf</sub> は 35 °C 前後のデータが多くみられた。図-2 d, e および f で示された A, E および g<sub>s</sub> は、図-1 で示された水上試験地のものに比べ大きく、特に6月28日および7月12日の午前中の E および g<sub>s</sub> は、他の測定日のものに比べ大きい。A, E および g<sub>s</sub> の最大値は、それぞれ 10.8 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 5.3 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> および 0.25 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> 程度であった。

#### 2. g<sub>s</sub> と A の関係

図-3 は、PPFD を 1,000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> 以上の条件に限定した g<sub>s</sub> と A の関係を示し、左側に水上試験地、右側に藤沢試験地のデータを示す。図において、各月で測定されたデータを上段に、それらの平均値と標準偏差を下段に示す。図-3 a1 における g<sub>s</sub> と A の関係について、ばらつきが少なく、g<sub>s</sub> の増加に伴い A は上昇する傾向がみてとれる。データが集中している g<sub>s</sub> およ

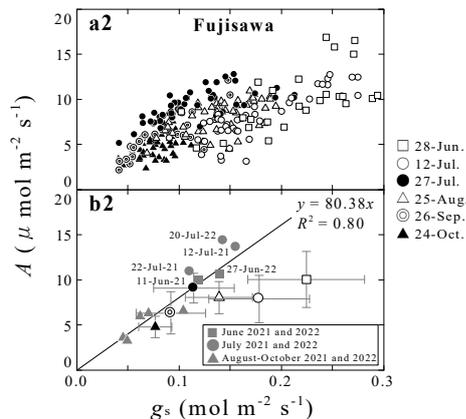


図-3. 水上試験地と藤沢試験地における気孔コンダクタンス(g<sub>s</sub>)と光合成速度(A)の関係

Fig. 3 (a) Relationship between g<sub>s</sub> and A under light-saturated conditions (PPFD ≥ 1,000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) at the (1) Minakami and (2) Fujisawa experimental forests according to (a) individual observations and (b) mean values of A and g<sub>s</sub>, with corresponding best-fit lines estimated via least-squares linear regression to determine the slope (i.e., intrinsic water use efficiency, iWUE). Error bars represent standard deviation. The data for June–October 2021 and 2022 in Figure (b2) are from Katagiri *et al.* (2023).

表-1. 水上試験地と藤沢試験地で採集したブナの葉の特徴

Table 1 Leaf characteristics (mean  $\pm$  standard error) of *Fagus crenata*

Site	n	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	LMA (g m <sup>-2</sup> )	Stomatal density (stomata mm <sup>-2</sup> )			
				Upper part of leaf	Middle of leaf	Bottom of leaf	Average
Minakami	5	47.7 $\pm$ 4.3	55.7 $\pm$ 2.1	541.7 $\pm$ 30.6	522.7 $\pm$ 31.1	498.3 $\pm$ 23.6	520.9 $\pm$ 16.0
Fujisawa	5	24.0 $\pm$ 1.5	95.9 $\pm$ 6.1	861.2 $\pm$ 44.2	958.7 $\pm$ 71.7	983.1 $\pm$ 91.0	934.4 $\pm$ 40.8

n: sampling number, LMA: leaf mass per area

び  $A$  の分布範囲は、それぞれ  $0 \sim 0.1 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  および  $0 \sim 10 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  であった。図-3 b1 における  $g_s$  と  $A$  のデータを線形回帰して求められる傾きは  $iWUE$  を表し、 $89.8 \text{ } \mu\text{mol mol}^{-1}$  となった。

図-3 a2 における  $g_s$  と  $A$  の関係について、図-3 a1 で示されたものに比べるとばらつきが大きいものの、 $g_s$  の増加に伴い  $A$  は上昇する傾向がみとれる。データが集中している  $g_s$  および  $A$  の分布範囲は、それぞれ  $0.5 \sim 0.25 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  および  $2.5 \sim 12.5 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  であった。但し、6月28日および7月12日における  $g_s$  の増加に対する  $A$  の上昇の程度は、その他のものに比べ低くなる傾向がみられた。この原因については、現時点では分からないが、辻堂 AMcDAS における 2023 年 6 月 28 日および 7 月 12 日の 2 週間前の積算降水量は、それぞれ 22 mm および 50 mm であり、比較的まとまった降雨により土壌が湿潤な状態となり、 $g_s$  が制御されず、蒸散が活発に行われたことに起因するかもしれない(図-2 e1, e2, f1 および f2 参照)。

図-3 b2 では、2023 年 6 月から 10 月に測定されたデータと、片桐ら(3)の先行研究で報告された 2021 年と 2022 年のものを示す。2023 年 6 月 28 日および 7 月 12 日の  $iWUE$  は、2021 年および 2022 年の同時期のものに比べ明らかに小さいことがみとれる。そのため、2023 年 6 月 28 日および 7 月 12 日を除いて  $g_s$  と  $A$  のデータを線形回帰して求められた  $iWUE$  は  $80.4 \text{ } \mu\text{mol mol}^{-1}$  となった。新潟県苗場山に生育するブナの  $iWUE$  は、8 月の飽和光下において  $32.1 \text{ } \mu\text{mol mol}^{-1}$  であることを示しているが(2)、水上試験地および藤沢試験地のブナの  $iWUE$  は、その値に比べ高かった。これらの結果をまとめると、 $g_s$  と  $A$  の最大値は水上試験地より藤沢試験地で大きかった。 $A$  の分布範囲は両試験地による違いはあまりみられず、 $g_s$  の分布範囲は水上試験地より藤沢試験地で約 2 倍大きい、 $iWUE$  は両試験地で同程度であることが示された。

**3. 葉の特徴** 表-1 は、水上試験地および藤沢試験地で採集したブナの葉の面積、LMA および気孔密度の平均値と標準誤差を示す。藤沢試験地において、葉面積は水上試験地のものの半分程度であるが、LMA は水上試験地のものの 1.72 倍であった。これらの結果は、太平洋側型ブナ(勿来)と日本海側型ブナ(安比)のものを比較した結果(6)と同程度であった。このことは、太平洋側では強光を十分に利用できるように乾燥耐性を持つ小型で厚い葉

を備え、日本海側では光を十分に受けるように大きな葉面積となるブナの形態を指摘した小池・丸山(5)を支持する。つまり、水上試験地を産地とする藤沢試験地のブナは、葉を高い LMA で小型化することで、冷温帯の水上より高温で乾燥する暖温帯の藤沢の環境に適応させたと考えられる。藤沢試験地の気孔密度は、葉の背軸面の位置によらず、水上試験地のものに比べ高く、全体では 1.79 倍高かった。このことは、 $g_s$  の最大値および分布範囲が、気孔密度の低い水上試験地より気孔密度の高い藤沢試験地で大きいことと整合性をもつと考えられる。以上のことから、水上試験地を産地とする藤沢試験地のブナは、葉の形態を適応させて、暖温帯の気候に順化していることが示唆された。但し、本研究では両試験地ともに 1 個体のブナを対象としているため、今後の研究では個体数やサンプル数を増やし、葉の水分特性や葉脈構造、成長量などのデータを蓄積することで、暖温帯に生育するブナの生理的・形態的な順化について検討する必要がある。

#### 引用文献

- (1) 原正利 (2006) 東日本太平洋側におけるブナの分布とその下限を規定する要因について. 植生学会誌 23(1): 1-12
- (2) Iio A, Fukasawa H, Nose Y, Kakubari Y (2004) Stomatal closure induced by high vapor pressure deficit limited midday photosynthesis at the canopy top of *Fagus crenata* Blume on Naeba mountain in Japan. *Trees* 18: 510-517
- (3) 片桐花音・小坂泉・梁瀬裕生・杉本奏音・瀧澤英紀・阿部和時 (2023) 太平洋側の温暖な低地に植栽されたブナの光合成速度と気孔コンダクタンスの関係. 関東森林研究 74: 101-104
- (4) 吉良竜夫 (1976) 生態学講座 2 陸上生態系—概論—. 共立出版, 東京: 166pp
- (5) 小池孝良・丸山温 (1998) 個葉からみたブナ背腹性の生理的側面. 植物地理・分類研究 46(1): 23-28
- (6) Uemura A, Harayama H, Ishida A (2022) Coordination between leaf water relations and leaf gas exchange in two ecotypes of *Fagus crenata* tree. *Bull FFPRI* 21(3): 195-205
- (7) 矢ヶ崎真衣・小坂泉・大庭流維・中井涼介・瀧澤英紀・阿部和時 (2022) 太平洋側の温暖な低地に生育するブナの光合成および蒸散速度の測定. 関東森林研究 73: 93-96

## 日本全国における到達路網費を考慮した未利用材利用可能量推計

有賀一広<sup>1</sup>・武田愛子<sup>1</sup>・藤井絢弓<sup>1</sup>・松岡佑典<sup>1</sup>・白澤紘明<sup>2</sup>・鈴木保志<sup>3</sup><sup>1</sup>宇都宮大学農学部・<sup>2</sup>森林総合研究所林業工学研究領域・<sup>3</sup>高知大学教育研究部自然科学系農学部門

**要旨**：本研究では、FIT で未利用木質バイオマス発電設備に認定され、2020年6月時点で稼働している日本全国の発電所を対象に、経済的に利益が得られる団地からの供給ポテンシャルを利用可能量として推計した。その結果、供給ポテンシャルは用材 65,940,444 m<sup>3</sup>/年、未利用材 13,188,089 m<sup>3</sup>/年と推計された。利用可能量は用材 53,943,770 m<sup>3</sup>/年、未利用材 10,788,754 m<sup>3</sup>/年と推計され、供給ポテンシャルの 81.8%との結果を得た。また、未利用材利用可能量と需要量を比較した結果、需要量に対する利用可能量の割合は 124.2%であった。さらに、2020年6月時点で FIT 認定されている発電所を対象に、主伐後の確実な更新を担保するため造林補助金を 100%補助で試算したところ、需要量に対する利用可能量の割合は 115.3%であった。到達路網費を含めない場合は 117.0%であり、到達路網費を考慮した影響は小さかった。

**キーワード**：FIT, 団地化, 収穫費用, 到達路網費, 補助金

## Estimating the availability of unused woody materials considering access road costs in Japan

Kazuhiro ARUGA<sup>1</sup>, Aiko TAKEDA<sup>1</sup>, Ayami FUJII<sup>1</sup>, Yusuke MATSUOKA<sup>1</sup>, Hiroaki SHIRASAWA<sup>2</sup>, Yasushi SUZUKI<sup>3</sup><sup>1</sup>School of Agriculture, Utsunomiya University; <sup>2</sup>Department of Forest Engineering, Forestry and Forest Products Research Institute; <sup>3</sup>Faculty of Agriculture and Marine Science, Kochi University

**Abstract**: This study estimated the availability of unused materials for woody biomass power generation plants under operation with FIT at the end of June 2020 as the supply potential from the profitable aggregated forests. As a result, supply potentials of used and unused materials were estimated at 65,940,444 m<sup>3</sup>/year and 13,188,089 m<sup>3</sup>/year, respectively whereas those availabilities were estimated at 53,943,770 m<sup>3</sup>/year and 10,788,754 m<sup>3</sup>/year respectively. Therefore, the rate of the availabilities to the supply potentials was 81.8%. Furthermore, the rate of the availabilities to the demands was 124.2%. With woody biomass power generation plants registered in FIT at the end of June 2020, the rate of the availabilities to the demands was 115.3% considering the subsidy rate of 100% to secure the reforestations. Since it was 117.0% without access road costs, access road costs would have a small impact on the availability.

**Keywords**: Feed-in Tariff, Aggregation, Harvesting cost, Access road cost, Subsidy

## I はじめに

2012年7月に再生可能エネルギー固定価格買取制度 FIT (Feed-in Tariff) が開始され、木質バイオマス発電、特に買取価格が高値に設定された未利用材を燃料とする発電施設が、2023年3月時点で、全国で279カ所新規認定され、すでに121カ所で稼働している(8)。未利用材を燃料として利用することは、林業振興や山村の雇用創出などに貢献すると期待されているが、一方で発電容量5MWで年間10万m<sup>3</sup>程度(6)が必要とされる未利用材を買取期間20年間、安定して調達できるか、FIT終了後の木質バイオマス発電の採算性、さらには木質バイオエネルギーの持続可能性などが懸念されている。

そこで、松岡ら(5)は日本全国のスギ、ヒノキ、マツ、カラマツ林を対象に、地理情報システムGISを用いた収支分析により、森林の更新費用も考慮した未利用材の利用可能量を推計し、2020年6月時点で、FITで稼働している74カ所の発電施設における燃料調達の可能性について検証した。松岡ら(5)は小班を単位として試算を行っているが、実際は流域等で森林経営計画が樹立され、団地化して施業を行うことがある(1)。そこで有賀ら(2)は小班を流域で団地化し、将来的な需要量と比較するため、2020年6月時点で、FITで新規認定されている148カ所の発電施設も対象として推計した場合の結果も報告した。ただし、これらの研究における収穫費用は、収穫林分

内での森林作業道作設と材の搬出・輸送における各種作業で発生する費用の合計を対象とし、収穫林分までの到達路網の作設費用は公的資金で賄うものとして、含まないものとした。これは解析対象とした小班の平均面積は0.7 haと小さく(5)、これらの小班全てに個別に到達路網を作設することは現実的な想定ではなく、また、これらの小班全てを最小コスト等で繋ぐ到達路網を計算で配置することは計算アルゴリズム的に現時点では難しいためでもある。一方、流域で団地化した場合の団地平均面積は41.9 haと大きくなり、団地化した林分全てに個別に到達路網を配置しても現実的には路網密度となるとの先行研究(1)もあることから、本研究では団地化した林分全てに個別に到達路網を作設するための費用を計上した場合の利用可能量推計結果についても報告する。

## II 材料と方法

本研究のデータと方法は、松岡ら(5)、有賀ら(2)を踏襲しているため、異なる点について説明する。松岡ら(5)、有賀ら(2)は、オープンデータである北海道と静岡県を除いて、日本全国の都府県にデータ取得を依頼したが、解析開始時に福井県と沖縄県からは、解析で整備可能なデータが取得できず、千葉県と香川県は準林班までのデータであったため、これら4県を除いた43都道府県で解析は行った。対象面積は全国人工林10,203,842 haとほぼ同等の10,080,046 ha、15,376,908 小班で、小班の平均面積は0.7 haであった。流域で団地化した場合は、団地化処理時のデータ欠損により、10,067,884 haと若干、対象面積が減少したが、ほぼ全国人工林面積と同等であることは変わらない。240,320 団地で、団地の平均面積は41.9 haである。

本研究では、松岡ら(5)、有賀ら(2)が準林班ということ以外で除外した千葉県と香川県のデータも含めて解析した。千葉県の人工林面積61,416 ha、対象面積54,119 ha、16,609 準林班で、準林班の平均面積3.3 ha、香川県の人工林面積23,181 ha、対象面積29,128 ha、9,820 準林班で、準林班の平均面積3.0 haである。千葉県と香川県における準林班の平均面積は、小班の平均面積と比較すると大きく、また、本研究で団地化した富山県の団地平均面積は4.7 ha程度であることから、千葉県と香川県の準林班もある程度のまとまりがある団地であると想定して、本研究では解析対象に含めた。福井県と沖縄県は、本研究開始時においても整備可能なデータが取得できず、解析に含まれていないため、結果は過小推計になっていることに注意を要する。

解析方法は1) 供給ポテンシャルの算出、2) 収入の算

出、3) 支出の算出、4) 利用可能量の推計からなる(2, 5)。1)、2)、4)に変更はない。3)支出の算出について、松岡ら(5)、有賀ら(2)は用材の出荷先は原木市場、未利用材はFIT制度において2020年6月時点で稼働または認定されている発電所とした。ただし、松岡ら(5)は、北海道では用材の運搬において共販所が少なく、製材所への直送が一般的である(7)ことから、用材の出荷先を道内の代表的な製材工場(3)に設定した場合についても利用可能量を推計した。本研究では、代表的な製材工場を含めた北海道立総合研究機構提供の製材所124か所も、北海道における用材出荷先とした(図-1)。北海道における出荷先が増加し、運搬距離が短縮されたため、松岡ら(5)、有賀ら(2)と比較して、北海道における収穫費用が減少した(図-2)。

到達路網は林道専用道規格で作設するとし、到達路網距離は各団地の土場(団地の重心)から道路データの最近傍点までの直線距離に、各団地の平均林地傾斜に応じた迂回率(4)を乗じて算出した(図-3)。この距離に25,000 円/mを乗じて到達路網費とした。林業専用道規格は横断地山傾斜に応じて、15度未満は23,000 円/m、15度以上25度未満は25,000 円/m、25度以上は27,000 円/mを上限として国庫補助がなされ、都道府県によっては追加補助がなされているが(9)、国庫補助の上限額で施工されることが多いとの話も聞き、また、今回は横断地山傾斜も算出していないことから、中間の25,000 円/mに路網到達費を設定した。なお、林業専用道は現在、国庫や都道府県等公的負担で賄われているが、将来、公的負担がなくなった場合の影響を、本研究では確認する。なお、より正確な到達路網配置や到達路網費算出は今後の課題である。

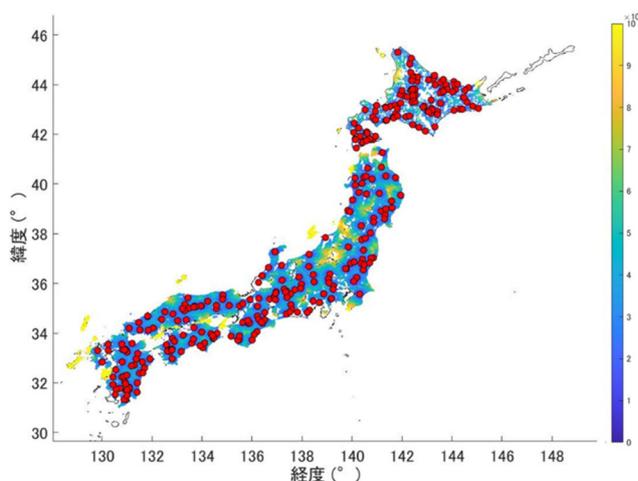
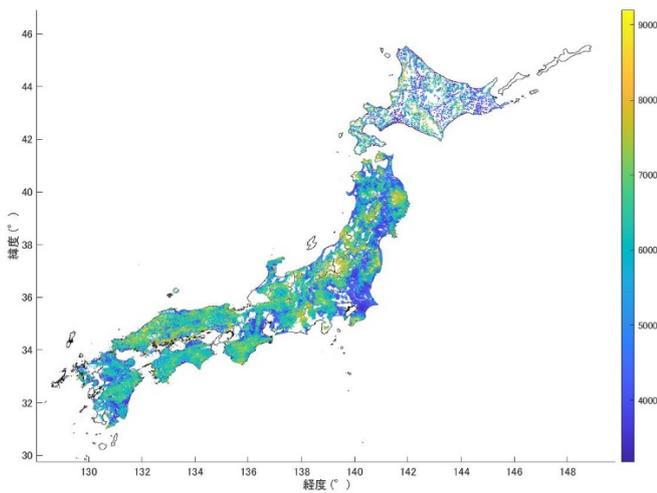
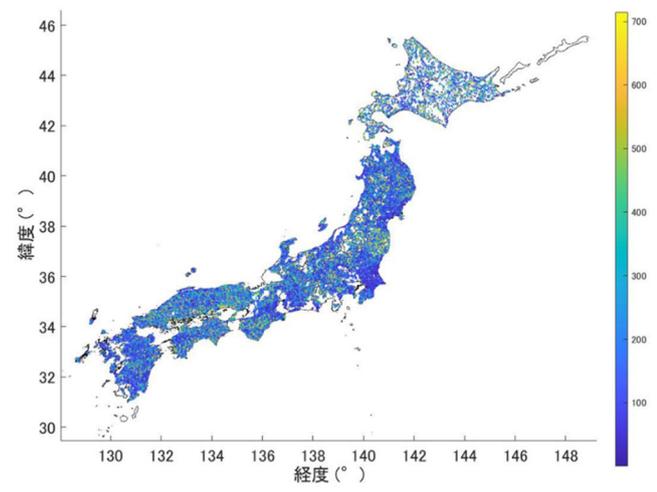


図-1. 用材運搬距離分布図 (m)

Fig. 1 Timber transportation distance map (m)



図一2. 収穫コスト分布図 (円/m<sup>3</sup>)  
Fig. 2 Harvesting cost map (JPY/m<sup>3</sup>)



図一3. 到達路網距離分布図 (m)  
Fig. 3 Access road distance map (m)

### III 結果と考察

本解析時において、プログラムを若干修正し（収穫費用計算式エラーの修正）、松岡ら(5)、有賀ら(2)と結果が異なるところがあるため、到達路網費を含めない結果から述べる。74カ所の発電施設を対象とした結果、本研究の団地単位では供給ポテンシャルは用材 65,940,444 m<sup>3</sup>/年、未利用材 13,188,089 m<sup>3</sup>/年と推計され、利用可能量は用材 54,479,598 m<sup>3</sup>/年、未利用材 10,895,920 m<sup>3</sup>/年と、供給ポテンシャルの 82.6%との結果を得た。千葉県と香川県を除いた有賀ら(2)では、供給ポテンシャルの 82.9%、本研究の千葉県と香川県を除いた結果では供給ポテンシャルの 83.0%が利用可能となり、ほぼ同等の結果である

が、有賀ら(2)では収穫費用が過剰に推計されていたため、プログラムの修正により、コストが減少し、利用可能量が増えた。また、千葉県と香川県は供給ポテンシャルに対する利用可能量の割合が高くなかったため、これら2県を含めることにより、供給ポテンシャルに対する利用可能量の割合は減少した。FITで稼働している74カ所の発電施設を対象に、発電容量5MWで年間10万m<sup>3</sup>程度(6)として需要量8,685,784m<sup>3</sup>/年を算出して、利用可能量と比較すると、需要量に対する利用可能量の割合は125.4%であった。到達路網費を考慮した場合、利用可能量は用材53,943,770m<sup>3</sup>/年、未利用材10,788,754m<sup>3</sup>/年と、供給ポテンシャルの81.8%（表一1）、需要量に対する利用可能量の割合は124.2%（表一2）と大きくは減少しなかった。

次に、2020年6月時点でFITで新規認定されている148カ所の発電施設を対象とし、到達路網費を含めない場合は、未利用材利用可能量は10,902,067m<sup>3</sup>/年と推計された。上記と同様に、容量5MWで年間10万m<sup>3</sup>程度(6)として算出した需要量11,018,104m<sup>3</sup>/年と比較すると、需要量に対する利用可能量の割合は98.9%となり、将来的には需要量を満たせなくなることが危惧された。そこで造林補助金を100%補助で試算したところ、利用可能量は12,890,892m<sup>3</sup>/年と試算され、需要量に対する利用可能量の割合は117.0%となった。最後に到達路網費を含めた推計を行ったところ、利用可能量は12,709,257m<sup>3</sup>/年、需要量に対する利用可能量の割合は115.3%と試算され（表一3）、団地全てに個別に到達路網を配置した場合でも、利用可能量は大きくは減少しないことが確認された。持続可能な森林経営や森林資源の安定供給のためには、路網整備を含めた集約化した団地への継続的な財政支援が必要である。

### IV おわりに

本研究では規模の効果による単位発電出力当たりの需要量の変化や、直接燃焼発電と比較して効率が良いとされるガス化発電などを考慮に入れていない。また、FITの認定を受け、未利用木質を燃料として稼働している発電所は未利用材を100%利用する想定で推計しているが、実際には未利用木質の発電所においても他の燃料種別の木質を受け入れる場合もある。逆に一般木質等の発電所においても未利用材を利用、さらに、FIT認定外の発電所や熱利用施設を考慮に入れていないことから、本推計が実情をすべて表しているものではないが、地域における利用可能量に関する参考情報は提供しているものと考え。今後は、物価の高騰等を考慮した木材価格や収穫

表-1. 供給ポテンシャル・利用可能量(m<sup>3</sup>/年)と割合(%)

Table 1 Supply potential/availability (m<sup>3</sup>/year) and rates (%)

	供給ポテンシャル		利用可能量		割合
	用材	未利用材	用材	未利用材	
北海道	9,994,055	1,998,811	9,833,446	1,966,689	98.4
東北	13,280,871	2,656,174	9,113,230	1,822,646	68.6
関東	4,191,776	838,355	3,034,052	606,810	72.4
中部	10,257,698	2,051,540	8,059,324	1,611,865	78.6
近畿	8,236,305	1,647,261	5,983,960	1,196,792	72.7
中国	7,524,156	1,504,831	6,578,022	1,315,604	87.4
四国	4,312,728	862,546	4,076,752	815,350	94.5
九州	8,142,856	1,628,571	7,264,984	1,452,997	89.2
全国	65,940,444	13,188,089	53,943,770	10,788,754	81.8

割合：供給ポテンシャルに対する利用可能量の割合

表-2. 未利用材需要量・利用可能量(m<sup>3</sup>/年)と割合(%)

Table 2 Demand/availability (m<sup>3</sup>/year) and rates (%) of unused material availability

	material availability		
	需要量	利用可能量	割合
北海道	1,770,810	1,966,689	111.1
東北	1,037,980	1,947,850	187.7
関東	198,512	444,659	224.0
中部	1,548,730	1,569,895	101.4
近畿	824,600	401,576	48.7
中国	542,199	2,189,737	403.9
四国	407,700	815,350	200.0
九州	2,355,253	1,452,997	61.7
合計	8,685,784	10,788,754	124.2

割合：需要量 (m<sup>3</sup>/年) に対する利用可能量の割合

表-3. 100%造林補助とした場合の認定発電所未利用材需要量・利用可能量 (m<sup>3</sup>/年) と割合 (%)

Table 3 Demand/availability (m<sup>3</sup>/year) and rates (%) of unused material availability with 100% subsidy rate for plants registered in FIT

	registered in FIT		
	需要量	利用可能量	割合
北海道	1,871,390	1,977,202	105.7
東北	1,354,320	2,694,793	199.0
関東	468,492	653,855	139.6
中部	2,107,310	1,932,122	91.7
近畿	1,320,880	496,153	37.6
中国	630,879	2,601,823	412.4
四国	483,500	838,071	173.3
九州	2,781,333	1,515,237	54.5
合計	11,018,104	12,709,257	115.3

割合：需要量 (m<sup>3</sup>/年) に対する利用可能量の割合

費用の感度分析、本推計では対象としていない枝葉などの収穫も考慮して、推計を行う予定である。

**謝辞：**森林 GIS データを提供いただいた各都道府県及び林野庁に感謝いたします。本研究は公益財団法人市村清新技術財団第3回(2020年度)地球環境研究助成, JSPS 科研費 16KK0168, 17K12849, 21H03672, 22H03800 の助成を受けたものである。

#### 引用文献

- (1) Aruga K, Murakami A, Yamaguchi R, Nakahata C, Saito M, Tasaka T (2013) Development of a model to estimate the annual available amount of forest biomass resources under profitable forest management-case study of Nasushiobara city and Kanuma area in Tochigi prefecture, Japan. Formath 12: 103-132
- (2) 有賀一広・松岡佑典・林宇一・白澤紘明 (2022) 日本全国における森林の団地化を考慮した未利用材利用可能量推計. 関東森林研究 73: 113-116
- (3) 北海道地区広域原木流通協議会(2017)北海道地区広域流通構想. 地域材の安定的・効率的な供給体制の構築: 137-149
- (4) 小林洋司 (1997) 森林基盤整備計画論—林道網計画の実際—. 日本林道協会
- (5) 松岡佑典・林宇一・有賀一広・白澤紘明・當山啓介・守口海 (2021) 森林 GIS を用いた木質バイオマス発電のための未利用材利用可能量推計. 日林誌 103: 416-423
- (6) 農林水産省：小規模な木質バイオマス発電の推進について.  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/018\\_02\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/018_02_00.pdf). (2023年8月16日参照)
- (7) 酒井明香・津田高明・八坂通泰 (2017) 北海道における木質バイオマス発電所向け未利用材の供給ポテンシャルの試算. 日林誌 99: 233-240
- (8) 資源エネルギー庁：再生可能エネルギー.  
[http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saien\\_c/kaitori/index.html](http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saien_c/kaitori/index.html) (2023年8月16日参照)
- (9) 鳥取県農林水産部長通知 (2020) 鳥取県林業再生事業費補助金交付要綱.  
[http://db.pref.tottori.jp/yosan/R2HojyokinKoukai01.nsf/9bb43b628c3b786c4925755c002fba3e/490039f1aac39c19492585350037966c/\\$FILE/%E8%A3%9C%E5%8A%A9%E9%87%91%E4%BA%A4%E4%BB%98%E8%A6%81%E7%B6%B1.pdf](http://db.pref.tottori.jp/yosan/R2HojyokinKoukai01.nsf/9bb43b628c3b786c4925755c002fba3e/490039f1aac39c19492585350037966c/$FILE/%E8%A3%9C%E5%8A%A9%E9%87%91%E4%BA%A4%E4%BB%98%E8%A6%81%E7%B6%B1.pdf) (2023年8月16日参照)

## コンテナ苗植栽の作業効率と作業姿勢の評価

原田慎也<sup>1</sup>・亀山翔平<sup>1</sup>・矢部和弘<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京農業大学地域環境科学部

**要旨:** コンテナ苗植栽は従来の裸苗植栽よりも植栽効率、活着率が高いこと、植栽可能期間が長いことなどが明らかになっている。しかし、コンテナ苗植栽の作業姿勢や作業負担に関する研究はあまり見られない。そこで、本研究ではコンテナ苗植栽のさらなる効率化を目指し、植栽器具（電動オーガ、唐クワ、ディブル）ごとの作業効率、作業姿勢、作業負担を分析・検証することを目的とした。その結果、電動オーガによる作業効率は唐クワとディブルより高いことがわかった。作業姿勢はディブル、電動オーガ、唐クワの順に障害発生リスクが小さかった。作業負担では唐クワによる作業において疲労部位が多く、特に腰部の負担が大きかった。よって、唐クワよりも電動オーガ、ディブルを使用することでコンテナ苗植栽のさらなる効率化・省力化の可能性が示唆された。

**キーワード:** コンテナ苗、作業効率、作業姿勢、作業負担

### Evaluation of work efficiency and work posture of containerized seedlings planting

Shinya HARADA<sup>1</sup>, Shohei KAMEYAMA<sup>1</sup>, Kazuhiro YABE<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

**Abstract:** Studies have shown that containerized seedling planting has a higher planting efficiency, higher planting success rate, and longer planting period than those of conventional bare seedling planting. However, few studies have been conducted on the working posture and workload of container seedling planting. Therefore, this study aimed to analyze and verify the work efficiency, posture, and burden of each planting tool (electric auger, hoe, and dibble) to further improve the efficiency of containerized seedling planting. The results showed that the work efficiency of an electric auger was higher than that of a hoe and a dibble. Regarding working posture, the risk of failure was in the order of hoe, electric auger, and dibble. Regarding workload, a hoe caused more fatigue, particularly in the lumbar region. Using an electric auger and a dibble suggested the possibility of higher efficiency and labor savings in containerized seedling planting compared to using a hoe.

**Keywords:** containerized seedlings, working efficiency, working posture, workload

### I はじめに

現在、根巻きを防止した容器で育成したコンテナ苗が山行苗木の4割を占め普及してきている(5)。コンテナ苗には、裸苗と比べて植栽効率や活着率が高いことにより時期を選ばずに植栽が可能であることなどのメリットがある。また、既往研究では、コンテナ苗植栽時に異なる植栽器具を使用すると植栽効率に差異が出ることが報告されている(1,3)。しかし、唐クワやディブル、スベードといった既存のコンテナ苗植栽専用器具（非機械）の作業効率を求めた既往研究はあるものの、電動オーガといった機械の作業効率やコンテナ苗植栽の作業姿勢、作業負担に関する研究はあまり見られず、植栽作業の機械化やコンテナ苗植栽の作業姿勢・作業負担の検討が必要である。そこで本研究は、コンテナ苗植栽のさらなる高効率化、省力化を目指し、電動オーガ、従来から使用されている唐クワ、コンテナ苗植栽専用器具であるディブル

の3器具を用いて植栽器具ごとの作業効率、作業姿勢、作業負担を分析・検証することを目的とした。

### II 材料と方法

**1. 調査地と材料** 試験地と植栽作業の概要を表-1に、作業概要を表-2に示す。調査地は、東京都西多摩郡奥多摩町に位置する東京農業大学奥多摩演習林（以下、試験地A）と静岡県三島市（以下、試験地B）の2か所に設定した。試験地Aは斜面傾斜23°、土壌硬度8.4mm（山中式硬度計による）、試験地Bでは斜面傾斜10°、土壌硬度4.0mmであった。植栽樹種・密度は、試験地Aではコウヨウザンコンテナ苗を3,000本/ha、試験地Bではヒノキコンテナ苗を2,000本/haとした。植栽器具は、電動オーガ（寸法90cm、質量約4.5kg、植穴径50mm、商品名：植穴名人、メーカー：マキタ、電圧18V、回転数0～500rpm(2)）、唐クワ（寸法90cm、質量約1.8kg）、ディ

ブル（寸法 90 cm，質量約 2.9 kg，植穴径 50 mm）とした。試験地 A では電動オーガ，唐クワ，試験地 B では電動オーガ，唐クワ，ディブルによる植栽を行った。被験者は試験地 A では植栽経験の無い作業員 2 名，試験地 B では植栽経験のある作業員 2 名の計 4 名とした。被験者はいずれも男性で，1 つの器具につきすべての作業を 1 名で行った。また，苗の運搬について，試験地 A では 25 本入れた苗木袋を手に持って行き，試験地 B では 25 本入れたビニール袋を腰にぶら下げて行った。

表-1. 試験地と植栽作業の概要

Table 1 Outline of test sites and planting

	試験地A	試験地B
植栽時期	2023/4/20	2023/5/11
斜面傾斜	23°	10°
土壌硬度	8.4 mm	4.0 mm
植栽樹種	コウヨウザン	ヒノキ
植栽密度	3,000本/ha	2,000本/ha
植栽器具	電動オーガ ・唐クワ	電動オーガ・唐クワ ・ディブル

表-2. 被験者概要

Table 2 Outline of Subjects

被験者	A	B	C	D
試験地	試験地A		試験地B	
年齢	20歳代	20歳代	40歳代	20歳代
身長	165 cm	167 cm	175 cm	175 cm
植栽経験	なし	なし	3年目	2年目

2. 分析項目 分析項目は，作業効率，作業姿勢，疲労度調査とした。作業効率は，植栽作業のビデオ動画から時間解析を行い，植栽作業の作業効率（秒/本），要素作業ごとの作業効率（秒/本）を算出した。また，各器具間での作業効率の比較は，t 検定または Bonferroni の多重比較にて行った。

作業姿勢は OWAS 法を用いて評価した。OWAS 法は身体を 3 つの部分に分けて，背部 4 コード，上肢 3 コード，下肢 7 コードに分類し，そこに，重さ 3 コードを組み合わせた 252 通りの作業姿勢から，腰痛等の障害の発生リスクを評価するものである(6)。評価は 4 つのカテゴリ（カテゴリ-1: この姿勢による筋骨格系負担は問題ない，リスクは極めて低い，カテゴリ-2: この姿勢は筋骨格系に有害である，リスクは低いに近い内に改善が必要，カテゴリ-3: この姿勢は筋骨格系に有害である，リスクも高く早急に改善すべき，カテゴリ-4: この姿勢は筋骨格系に非常に有害である，リスクは極めて高く，直ちに改善すべき）に分類した(6)。OWAS 法による作業姿

勢の分類は 1 秒ごとに実施した。

疲労度調査は日本産業衛生学会産業疲労研究会選定の疲労部位調べを使用した(4)。疲労部位調べは首から足首までの 17 か所について痛みやだるさをどの程度感じているかを 4 段階（0: 全く感じない，1: わずかに感じる，2: かなり感じる，3: 強く感じる）で記入するものである(4)。この記入は各器具の作業終了直後に実施した。

3. 要素作業分類 要素作業は，植栽間隔を測りながら移動する【移動・測尺】，穴あけの前に地面の枝葉や岩を取り除く【穴あけ準備】，植栽器具で植穴をあける【穴あけ】，植穴に苗を入れる【苗挿入】，苗と土壌を密着させるために踏み固める【踏み固め】の 5 つに分類した。

### III 結果と考察

1. 植栽作業の作業効率 植栽道具ごとの作業時間を図-1 に示す。植栽作業効率は電動オーガが 45~65 秒/本，唐クワが 51~87 秒/本，ディブルが 53~66 秒/本であった。電動オーガは，唐クワとの間で有意差が 4 名中 3 名あり，作業時間が 6~30 秒短く，唐クワよりも作業効率が高いといえる。また，ディブルとの間でも 1 名に有意差があり，電動オーガはディブルより作業効率が高いといえる。唐クワとディブルの間では有意差はなかった。

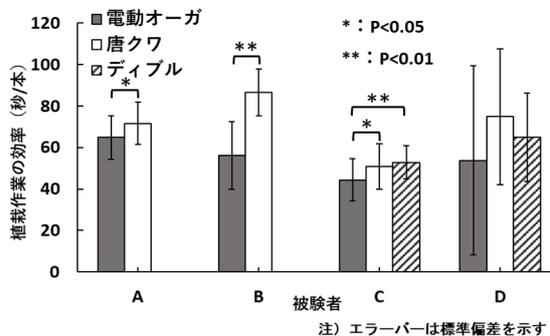


図-1. 被験者別の植栽作業の効率

Fig. 1 Efficiency of planting work by subject

2. 要素作業ごとの作業効率 移動・測尺ではすべての器具間で有意差がなく，器具による差はないといえる。穴あけ準備はどの植栽器具も 10 秒以下であり，大きな差は見られなかった。穴あけ準備は穴あけの場所の枝葉や岩の有無に影響を受けるため，器具による植栽効率への影響は少ないと考えられる。

穴あけは，電動オーガが 6~16 秒，唐クワが 8~24 秒，ディブルが 9~19 秒という結果となった(図-2)。電動オーガは，他の器具との間においてすべての作業員で有意差があり，作業時間が唐クワより 2~7 秒，ディブルより 3~10 秒短く，ほかの器具よりも作業効率が高いといえ

る。穴あけのために植栽器具を振ったまたは突き刺した回数は、電動オーガとディブルは1回程度であるが、唐クワは3~15回程度と大幅に多い(図-3)。この結果が、穴あけの作業効率に影響し、唐クワの作業効率が電動オーガよりも低い要因であると考えられる。また、ディブルに関しては、突き刺す回数は少ないものの、突き刺したのちに足や手で押し込む必要があるため、電動オーガよりも効率が低くなったと考えられる。

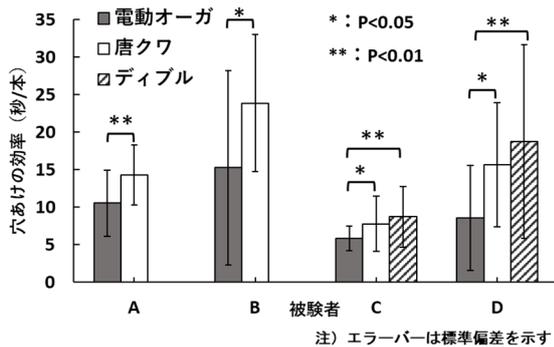


図-2. 被験者別の穴あけの効率

Fig. 2 The working efficiency of pitting by subject

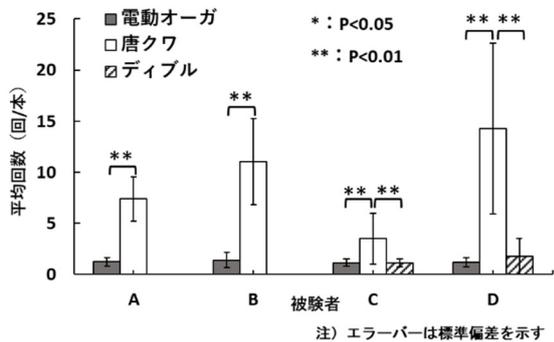


図-3. 穴あけのために植栽道具を振ったまたは突き刺した平均回数

Fig. 3 Average number of times planting tools were shaken or thrust for pitting

苗挿入は、どの植栽器具も14秒以下であり、器具間の差も最大3秒程度で大きな差はなかった。苗挿入はどの器具を使用しても作業の動きに変化は見られなかったことから器具による差は小さいと考えられる。

踏み固めは、電動オーガが6~21秒、唐クワが12~25秒、ディブルが6~8秒であった(図-4)。電動オーガは、唐クワとの間で3名有意差があり、作業時間も5~15秒短く、唐クワよりも作業効率が高いといえる。また、ディブルは、唐クワとの間で2名有意差があり、作業時間も4~9秒短く、唐クワよりも作業効率が高いと考えられる。電動オーガとディブルに関しては植穴を苗の根鉢

と同等の大きさにあけることができるが、唐クワは苗よりも大きな植穴をあけてしまうため、踏み固めの作業効率に影響が出たと考えられる。

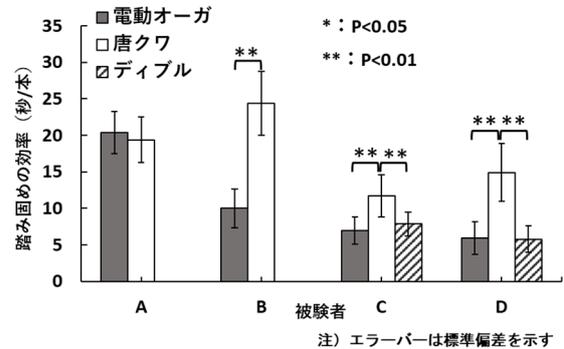


図-4. 被験者別の踏み固めの効率

Fig. 4 The working efficiency of treading down by subject

**3. 植栽作業の作業姿勢** 植栽作業の作業姿勢では障害の発生リスクの低いカテゴリー1・2の割合がディブル、電動オーガ、唐クワの順に高くなった(図-5)。リスクの高いカテゴリー3・4の割合が全体的に大きいのは植栽作業が移動を伴う作業であること、傾斜地での作業であることが影響していると考えられる。

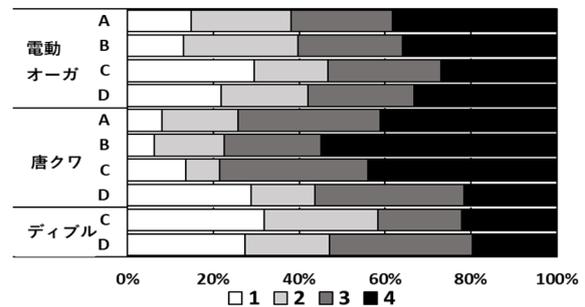


図-5. 作業姿勢の各カテゴリーの割合

Fig. 5 Percentage of each category of working posture

**4. 要素作業の作業姿勢** 移動・測尺はどの被験者の作業でもカテゴリー1, 2の割合が約48%以上であり、他の要素と比較して障害発生リスクは低いことがわかった。穴あけ準備は、ディブルが最もリスクが低いカテゴリーの割合が大きく、電動オーガと唐クワは同程度の割合であった。穴あけ準備は地面の枝葉や岩の影響を大きく受けるため、器具による影響は少ないと考えられる。

穴あけの作業姿勢を図-6に示す。リスクの低いカテゴリー1, 2の割合が大きい順に電動オーガ、ディブル、唐クワとなった。唐クワは図-3で示したとおり、何度も振る必要があることでリスクの高いカテゴリーの割合が非常に大きいものになったと考えられる。また、電動オー

が穴あけ時にレバーを握り体重をややかけることで穴あけをすることができるが、ディブルは足を使い突き刺す、唐クワは何度も振る必要があり、人力と機械力の差が作業姿勢に影響していると考えられる。

苗挿入は、器具の違いによる大きな差は見られなかった。これは苗挿入の動きがどの器具でも同様の動きであることが要因であると考えられる。踏み固めは、被験者Cのディブルを除くとリスクの高いカテゴリーが70%以上であるため、全体的に作業姿勢のリスクは高いと考えられる。

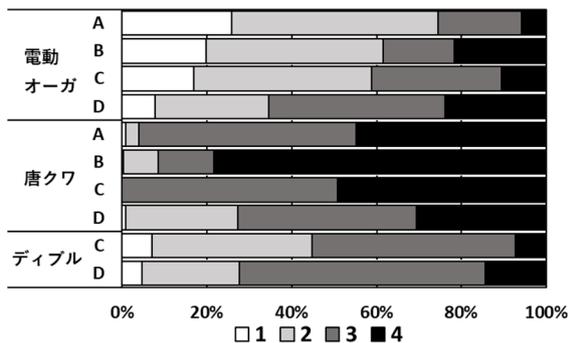


図-6. 穴あけにおける作業姿勢の各カテゴリーの割合

Fig. 6 Percentage of each category of working posture in Pitting

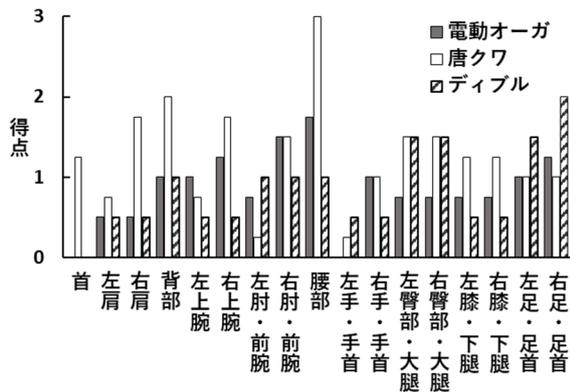


図-7. 疲労部位アンケート

Fig. 7 Fatigue site questionnaire

**5. 疲労度調査** 疲労部位アンケートの結果を図-7に示す。電動オーガは腰部と右肘・前腕でやや負担が大きかった。これは、穴あけ時に右手でレバーを握りながら体重をかけていることが要因であると考えられる。しかし、その他の部位では負担が小さく、他の器具と比較して負担は小さいと考えられる。唐クワは、上半身、特に腰部で負担が大きく、下半身でもやや負担が大きくなり、電動オーガとディブルと比べて全体的に負担が大きかった。要因としては、穴あけ時に何度も振る必要があることが考えられる。ディブルは、下半身、特に右足・足首でやや負担が大きくなった。これは、穴あけ時に足を使

い体重をかけることが要因と考えられる。

#### IV まとめ

植栽作業の作業効率は、電動オーガが高いことが明らかとなった。特に穴あけでは器具間で作業効率に大きな差が見られ、穴あけの効率化が植栽作業の効率化につながったと考えられる。作業姿勢は、唐クワが最も障害発生のリスクが高いことが明らかとなった。作業姿勢に関しても、穴あけの作業姿勢が植栽作業全体に影響していることが考えられる。この結果から、穴あけが植栽作業に大きな影響を与えたと考え、従来から使用されてきた唐クワよりも植栽専用器具である電動オーガ、ディブルを使用することで植栽作業の効率、作業姿勢の改善が可能であるといえる。また、疲労度調査でも、唐クワは電動オーガやディブルと比べて全体的に負担が大きく、特に腰部では、すべての被験者が痛みまたはだるさを強く感じると回答したことから、腰部の障害発生リスクを低減するためにも植栽作業時には電動オーガもしくはディブルの使用が推奨される。

今後の課題としては、作業者の身長などの違いによる作業負担、本結果で器具の違いによる大きな差が見られなかった要素作業の効率化・省力化、植栽予定地への苗木・資材等の運搬の効率化・省力化が挙げられる。

**謝辞:** 本研究の一部は、NEDO 受託研究（プロジェクト名：早生樹による木質バイオマス燃料の安定的供給事業体形成のための高効率生産システムの実証事業）の助成を受けて実施した。

#### 引用文献

- (1) 猪俣雄太・伊藤崇之・鹿島潤・山田健・山口浩和・今富裕樹・旗生規 (2016) 異なる植栽器具使用時のコンテナ苗の植栽能率. 日本森林学会誌 98: 223-226
- (2) 株式会社アクティオ コンテナ苗植栽用パワーアシストドリル植穴名人. <https://www.aktio.co.jp/products/model/s/300301/> (2023.12.8 参照)
- (3) 亀山翔平・矢部和弘 (2023) 植栽器具の違いによる植栽作業効率および作業姿勢の評価. 第 134 回日本森林学会大会学術講演集
- (4) 日本産業衛生学会産業疲労研究会. <https://square.umin.ac.jp/of/index.html> (2023.11.6 参照)
- (5) 林野庁(2023)令和 4 年度森林・林業白書(令和 5 年 5 月 30 日公表). zenbun-41.pdf (maff.go.jp) (2023.12.21 参照)
- (6) 吉岡拓如・酒井秀夫・岩岡正博・松本武・山田容三・鈴木保志 (2020) 森林利用学. 丸善

## 林業作業における作業日報様式の分析

鈴木裕也<sup>1</sup>・亀山翔平<sup>1</sup>・矢部和弘<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京農工大学地域環境科学部

**要旨:** 作業日報は、多くの林業事業者や森林組合で日々の作業内容や作業時間等の記録に用いられ、作業効率の分析等にも活用されている。その一方で、作業日報様式は多種多様なものが存在しており、作業日報の様式のテンプレートとなるものはまだない。また、林業作業における作業日報に関する全国的な調査は行われていない。そこで、本研究では全国の林業認定事業者を対象にアンケート調査および作業日報の収集を行い、その集計から日報の記入傾向を分析することを目的とした。その結果、事業者と組合で一部異なる部分があるが多くの記入項目が一致していた。事務員数、作業員数では組合の方が人数規模が大きいが、作業日報の記入および分析の有無や記入頻度、保存様式などは共通している部分が多くあり、事業者と組合で大きな違いは見られなかった。

**キーワード:** 作業日報, 様式分析, 林業事業者, 森林組合

### Analysis of daily work report forms in forestry operations

Hiroya SUZUKI<sup>1</sup>, Shohei KAMEYAMA<sup>1</sup>, Kazuhiro YABE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

**Abstract:** Daily work reports are used by several forestry enterprises and associations to record the details of daily work and working hours and to analyze work efficiency. However, there is still no template for the daily work report format and various daily work report formats exist. Furthermore, no national survey on daily work reports in forestry operations has been conducted. This study aimed to collect and analyze surveys and daily work reports from certified forestry enterprises throughout Japan. The results showed that many of the entries are consistent, although some differ between entities and associations. Although the number of clerical staff and workers was larger in the association, there were several common aspects, such as whether daily work reports were filled out, how often they were filled out, the form in which they were kept, and whether they were analyzed. No substantial differences were found between the entities and the association.

**Keywords:** Daily work report, Stylistic analysis, Forestry organization, Forest owners association

### I はじめに

作業日報は、多くの林業事業者（以下、事業者）や森林組合（以下、組合）で、日々の作業内容や作業時間等の記録に用いられており、素材生産性の分析等にも活用されている(1)。分析によって算出された情報は、作業工程管理や生産性の向上に向けた基礎データとなるため、日々、作業日報を記入することが重要である。しかし、作業日報の様式について、「機械化のマネジメント」では、決められた形式はないとしながら必要な項目・日報例が挙げられている(2)。また、「生産性向上ガイドブック」では、いくつかの事業者の作業日報事例が示されている(2)が、その様式は多種多様なものとなっている。そのため、他事業者との比較がしにくく、情報の共有がしづらくなっていることが予想される。そこで、本研究は全国の林業認定事業者に対して日報の記入状況に関するアンケート調査および日報収集を行い、その集計結果から日

報の記入傾向を分析することを目的とした。

### II 材料と方法

**1. アンケートの送付と日報の収集** 本研究では、全国の林業認定事業者を対象に、メールにて作業日報の使用状況に関するアンケート調査ならびに作業日報の提出を依頼した。林業認定事業者は、各都道府県の Web サイトからリストを作成し、全国の林業認定事業者は 2,588 件であった。林業認定事業者のリストに無い岐阜県、大阪府、和歌山県、鳥取県、沖縄県は「意欲と能力のある林業経営体」から合計で 94 件リストに追加した。また、京都府については「経営管理実施権の設定を受けることを希望する民間事業者」に記載されている事業者・組合の 34 件をリストに加えた。その総数は 2,716 件となり、その中にメールアドレスの記載があった 1,339 件にて調査を行った。なお、作業日報の提出については個人情報等

の問題もあるため任意とした。

アンケート調査および日報提出の依頼に関するメール送付は2023年5月30日から6月2日に行い、アンケートの回答および日報の提出締切は2023年6月30日までの1ヶ月間とした。提出されたアンケートは事業体・組合それぞれに集計し、回答率を算出した。作業日報は記入項目ごとに記入率を算出し、関連性が高い項目でカテゴリ分けを行った。

**2. アンケート設問** アンケート調査は全15問で構成した。「事務員数」、「作業員数」、「作業日報記入の有無」、「作業日報の保存様式」、「様式変更の有無」、「様式の作成者」、「作業日報の記入者」、「作業日報の記入頻度」、「作業日報の分析の有無」、「作業日報の分析者」、「事務所への提出頻度」、「作業日報の管理責任者」の12問は選択式とした。このうち「作業日報の保存様式」、「様式の作成者」、「作業日報の記入者」、「作業日報の分析者」、「事務所への提出頻度」、「作業日報の管理責任者」の6問は複数回答可とした。「作業班数」、「作業日報の記入開始時期」、「分析内容」の3問は自由記載による回答とした。

### III 結果と考察

**1. アンケートおよび日報の回収** アンケートおよび日報の収集結果について表-1に示した。送信数は1,217件である。アンケートは組合が111件、事業体が105件の計216件から返信があり、返信率は17.75%であった。日報は組合が80件、事業体が79件の計159件から返信があり、返信率は13.06%であった。

表-1. アンケート・日報収集結果

Table 1 Survey and daily report aggregate results				
	組合	事業体	計	返信率
アンケート数	111	105	216	17.75 %
日報数	80	79	159	13.06 %

**2. アンケート結果** 事務員数の結果を図-1に示した。事業体の事務員数は「5人未満」が77.9%で最も多く、

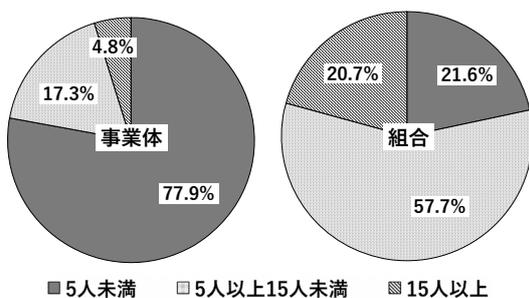


図-1. 事務員数  
Fig. 1 Number of clerical staff

次いで「5人以上15人未満」、「15人以上」の順であった。組合では「5人以上15人未満」が57.7%で最も多く、次いで「5人未満」、「15人以上」の順であった。事業体は5人未満が約8割、組合は5人以上15人未満が約6割という結果となった。事務員数では事業体と組合で人数に違いが見られた。

作業員数の結果を図-2に示した。事業体の作業員数は「10人未満」が56.7%で最も多く、次いで「10人以上30人未満」、「30人以上」の順であった。組合では「10人以上30人未満」が54.1%で最も多く、次いで「10人未満」、「30人以上」の順であった。無回答は0.9%であった。事業体では半数以上が10人未満であるのに対し、組合では10人以上30人未満が半数を超えており、作業員数に差があることが分かった。30人以上の事業体の割合は僅かであった。

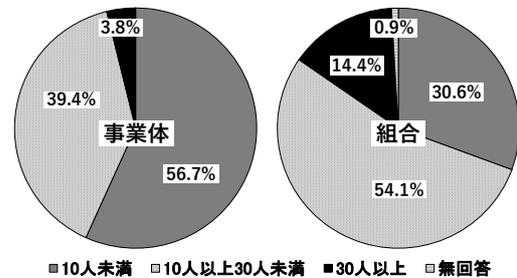


図-2. 作業員数  
Fig. 2 Number of workers

作業日報の記入の有無の結果を図-3に示した。作業日報記入の有無については事業体で「記入する」が87.5%で最も多く、次いで「記入しない」、「その他」、「不明」の順であった。組合では「記入する」が93.7%で最も多く、次いで「記入しない」、「その他」、「不明」の順であった。無回答は0.9%であった。その他の内容は週報、社長が記入、出勤簿の中に簡単に記入、出張した際の業務日報をつけている、部署により異なるが補助事業を活用するかについてはつけるという回答であった。そのため、9割前後の事業体と組合が日報を記入していると回答し

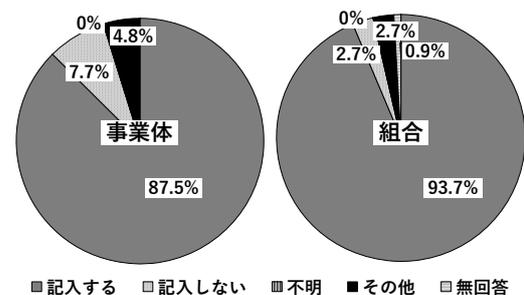


図-3. 作業日報記入の有無  
Fig. 3 Filling out daily work report

ており、多くの事業体と組合で日報の記入が行われていることが分かった。

作業日報の保存様式の結果を図-4 に示した。保存様式について複数回答で尋ねたところ、「紙媒体」が71.2%で最も多く、次いで「データ形式」、「その他」、「画像」の順であった。無回答が7.7%であった。組合では「紙媒体」が78.4%で最も多く、次いで「データ形式」、「その他」、「画像」の順であった。無回答は3.6%であった。その他として、スマートフォンによる日報管理システム、勤怠管理システム、クラウド、kintone との回答があった。そのため、多くの事業体と組合で紙により保存することが明らかとなった。しかし、一部ではスマートフォンによる記録も活用されていた。また、紙とデータ形式の両方で保存しているとの回答もあった。

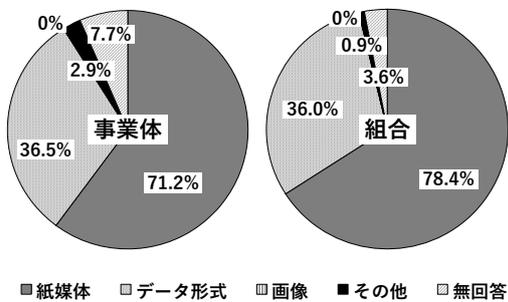


図-4. 作業日報の保存様式  
Fig. 4 Saving format of daily work report

作業日報の記入者の結果を図-5 に示した。作業日報の記入者について複数回答で尋ねたところ、事業体では「作業体本人」が47.6%で最も多く、次いで「班長」、「その他」、「事務職員」、「不明」の順であった。無回答は7.6%であった。組合では「作業体本人」が60.4%で最も多く、次いで「班長」、「事務職員」、「その他」、「不明」の順であった。無回答は3.6%であった。その他として現場代理人、社長、事業主、工場長、現場代表者、主任者、リーダーに指名された者との回答があった。そのため、作業員が記入するとの回答が多いが、事務職員が記入してい

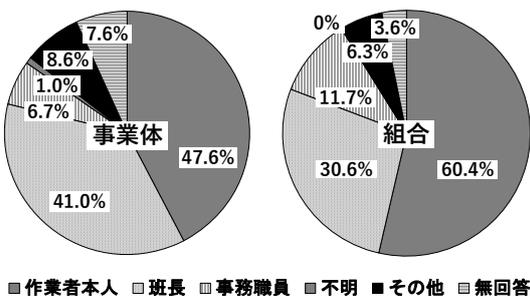


図-5. 作業日報の記入者  
Fig. 5 Person filling out daily work report

るところもあることが明らかとなった。

作業日報の記入頻度の結果を図-6 に示した。日報の記入頻度について、事業体では「毎日」が85.6%で最も多く、次いで「週に1回」、「月に1回」、「その他」、「数ヶ月に1回」の順であった。無回答は7.7%であった。組合では「毎日」が90.1%で最も多く、次いで「月に1回」、「週に1回」、「その他」、「数ヶ月に1回」の順であった。無回答は3.6%であった。その他としては必要な時、その都度との回答であった。毎日記入しているとの回答が事業体と組合どちらも8割を超えた。週に1回、または月に1回記入するという回答は少なく、毎日記入を行っている事業体や組合が多いことが明らかとなった。

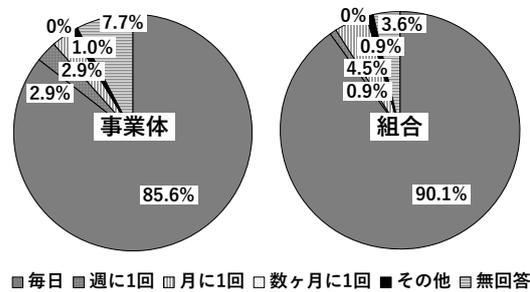


図-6. 作業日報の記入頻度  
Fig. 6 Frequency of filling out daily work report

作業日報の分析の有無の結果を図-7 に示した。作業日報の分析の有無について、事業体では「集計と分析を行う」が51.9%で最も多く、次いで「集計のみ」、「集計しない」の順であった。無回答は7.7%であった。組合では「集計と分析を行う」が61.3%で最も多く、次いで「集計のみ」、「集計しない」、「その他」であった。無回答は3.6%であった。その他としては、日当制のため給料計算に使用、内容の確認と保存、特定業務に対して大まかな業種単位で集計していると回答があった。分析まで行うとの回答が事業体で約5割、組合で約6割であった。集計のみ行うとの回答は3割前後であった。集計のみ行う

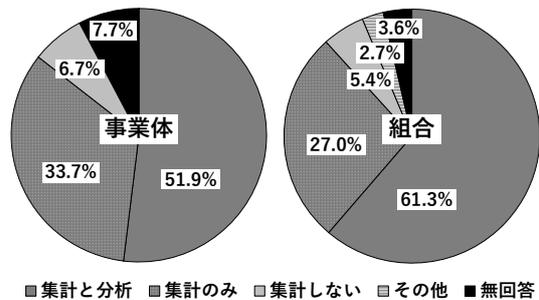


図-7. 作業日報の分析  
Fig. 7 Analysis of daily work report

との回答の中には、分析まで行いたいと事業が忙しく分析まで行っていないとの回答もあった。

**3. 作業日報の記載項目の集計** 作業日報の記入項目についてまとめたものを表-2に示した。今回の集計では全38個の記入項目が挙げられた。カテゴリー分けしたところ、基本項目(日付、天候など)、属人項目(作業者名、人工など)、現場項目(現場名、作業量など)、機械項目(使用機械、燃料関連など)、出勤項目(有給、出勤日数など)、自由記述(指示事項、備考など)の計6つのカテゴリーに分類された。記入項目では事業体と組合で一部内容が異なっており、特記事項、事業名、資材記入欄、現場代理人、気温、雨量、従事人数、走行距離の8項目は事業体のみに見られ、備考、事業内容、森林所有者、委託者、面積、林小班、有給、現場状況、指導員の9項目は組合のみに見られた。これは事業体と組合で事業形態が異なるため違いが出たのではと考えられる。

表-2. 作業日報の記入項目一覧

Table 2 List of items to be entered in the daily work report

カテゴリー	記入項目		
基本項目	日付	天候	気温
	事業内容	事業名	雨量
属人項目	従事人数	現場代理人	作業者名
	森林所有者	委託者	アルコールチェック
	KY活動	指導員	人工
現場項目	現場名	林小班	作業内容
	作業量	現場状況	資材記入欄
	作業時間	面積	
機械項目	使用機械	燃料関連	アワーメーター
	点検項目	機械整備	
	稼働台数	走行距離	
出勤項目	出勤日数	残業時間	有給
	指示事項	特記事項	協議・承認事項
自由記述	備考	その他	

記入項目を事業体・組合別で記入率の高い順に並べたものを図-8、図-9に示した。事業体・組合どちらも上位7項目が日付、現場名、作業内容、作業者名、作業時間、天候、使用機械となり、記入率は異なるが記入項目が一致していることが分かった。また、「機械化のマネジメント」で示された必要項目(3)と比較すると、日付、天候以外の5項目は一致していた。

収集した日報の中にはカレンダーに直接記入したものや白紙に記入したものを日報としているものもあった。また、作業時間や作業内容などは記録せず、出勤したかどうかのみを記録しているものがあった。

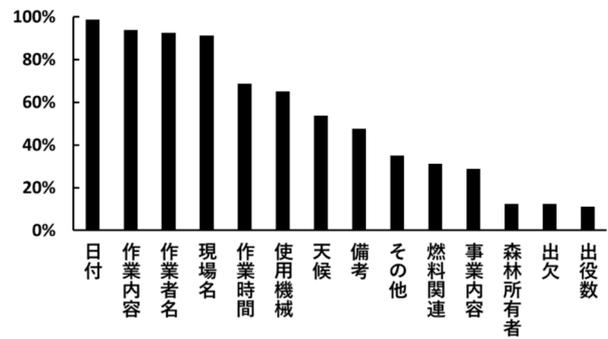


図-8. 組合の項目記入率

Fig. 8 Percentage of filling out for each item by forest owners association

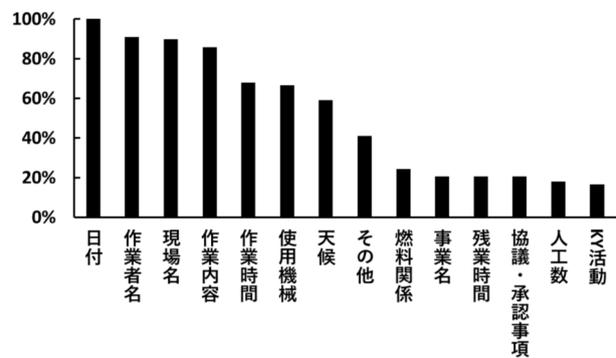


図-9. 事業体の項目記入率

Fig. 9 Percentage of filling out for each item by other forestry organization

#### IV まとめ

本研究は、日報の記入状況に関するアンケート調査および日報収集から、日報の記入傾向を分析することを目的とした。その結果、事務員数、作業員数では組合の方が事業体より人数規模が大きいが、作業日報の記入頻度や分析の有無、保存様式等は事業体も組合も回答率は同じであったため、どちらも同程度記入や分析を行っていることが分かった。記入項目では事業体と組合で一部異なる項目があるが、多くの項目が一致しており、記入様式は大きく異なるが、記入項目は共通する部分が多いことが分かった。今回得られた結果から、必要な項目を選定し、新たな様式を作成することが今後の課題である。

#### 引用文献

- (1) 藤野正也・栗山浩一 (2019) 作業日報の記録様式および利用方法に関する現状分析. 森林学誌 34: 17-24
- (2) 林野庁 (2018) 生産性向上ガイドブック. オンライン. 2023年12月22日参照
- (3) 全林協編 (2001) 機械化のマネジメント. 全国林業改良普及協会: 94-95

## 林地残材の積み込み作業におけるモデル化と採算性の検討

黒田浩太郎<sup>1</sup>・金 鉦倍<sup>1</sup>・吉岡拓如<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院農学生命科学研究科

**要旨：**道端での全木材の造材により発生する林地残材の積み込み作業を調査し、その時間観測結果をもとに林地残材の積み込み作業のモデル化と輸送を含めた採算性の検討を行い、さらに地域における林地残材収穫輸送コストの試算を行った。その結果、観測結果に対するモデルの生産性の予側値は 100.5%と、概ね再現性のあるモデルを構築できた。採算性の検討では、高知県でのバイオマス発電用枝条未利用材の買取価格 4,000 円/wet-t を参考にした時、輸送距離 36.9 km が損益分岐点となった。さらに静岡県富士地域を対象地域として、域内で発生する林地残材を分散型と集中型で利用することを検討した場合、分散型が集中型よりも輸送距離が 5.6 km 短くなったことにより、収穫輸送コストは分散型での利用が集中型よりも 356 円/wet-t 安くなった。

**キーワード：**林地残材、シミュレーション、生産性、収穫輸送コスト、小規模分散型エネルギー

### Modelling and profitability for the loading of logging residues

Kotaro KURODA<sup>1</sup>, Hyun-Bae KIM<sup>1</sup>, Takuyuki YOSHIOKA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

**Abstract:** Loading operation of logging residues generated during limbing and bucking alongside a forest road was investigated. Based on the results of the time study, the loading operation of logging residues was modeled and the profitability of loading and transportation was estimated. Utilization of logging residues in a region was also discussed. As a result, the percentage of the productivity of loading operation estimated by the constructed model to that monitored was 100.5 %, indicating that the model could be generally reproducible. With respect to the profitability, the break-even point for transportation distance was calculated as 36.9 km when referring to the purchase price of 4,000 yen/wet-t for logging residues for biomass power generation in Kochi Prefecture. In addition, the intensive use (centralized type) and dispersed use (decentralized type) of logging residues generated in the Fuji area of Shizuoka Prefecture was compared. Since the average transportation distance of the decentralized type was 5.6 km shorter than that of the centralized one, the cost in the decentralized type was 356 yen/wet-t cheaper than that in the centralized one.

**Keywords:** Logging residues, Simulation, Productivity, Loading transportation cost, Small-scale decentralized energy utilization

### I はじめに

現在、発電用チップとして利用されている燃料の多くは間伐材由来であり、素材生産の過程で発生する枝条を中心とする林地残材の利用はあまり進んでいない。しかし、木質バイオマス発電所における将来に渡る燃料調達安定化のためには、枝条の利用を進める必要がある。

森林作業道を開設してプロセッサで全木材の造材を行い、短幹材を搬出する作業システムでは、林地残材は収穫しやすい道端に集まることになる。このような林地残材は、移動式チップパによる粉碎のちに輸送することで調達の費用削減に繋がるが、その運用が難しく稼働率が低くなること、機械費用が高いことから結果的に調達コストが高くなることも考えられる(7)。そのため、林地残材をトラックに積み込みそのまま発電所や工場などの需要

施設への輸送が行われる事例も見られている(4)。

そこで本研究では、今後の林地残材利用拡大の一助とするため作業道端に積み上げられた林地残材の積み込み作業について時間観測を行い、その結果をもとに積み込み作業のモデル化と輸送距離も含めた採算性の検討、さらに地域における林地残材収穫輸送コストの試算を行った。

### II 材料と方法

**1. 作業時間観測** 東京都八王子市上恩方町ヒノキ林皆伐地における作業道端に林地残材が積み上げられた現場で、作業道端に積み上げられた林地残材に対してグラップルローダ（日立建機 社製 ZAXIS 130L-3, エンジン出力 69 kW）が残材をつかみ出し、4t トラック（積載容量 12 m<sup>3</sup>）へ投入する積み込み作業の時間観測を行った

(図-1)。要素作業は、林地残材を掴む作業である「把持」、残材をつかんだ状態で荷台上まで旋回する「旋回」、荷台上でのつかんだ残材を解放する作業である「解放」、何もつかんでいない状態で荷台上からの旋回である「空旋回」、1回あたりのつかみ量を増やすために行った作業である「把持し直し」、枝条についている土を払うために行う「ふるい落とし」、荷台に多くの残材を積み込めるように行う「押し込み」、荷台上での林地残材を整理する「荷台整理」、グラブローダが移動する「移動」の9つに区分した。なお、積み込んだ林地残材の含水率と質量については後日作業を行った事業者より数値を得た。観測したのは、1回の積み込み作業で合計11サイクルである。

**2. 積み込み作業のモデル化** 作業については、要素作業の組み合わせにより表現した。観測された要素作業の分布から理論式を求め、乱数を理論式に代入することで要素作業時間を推定するものとした。なお理論式は、櫻井ら(2)にならない対数正規分布に従うものとして近似した。また積み込み作業は、要素作業の流れのなかに分岐を多く含む複雑である。そのためシミュレーションでは、観測された作業連結強度より各作業への遷移確率を定め、これにしたがって次の要素作業を決定した(8)。シミュレーションには、Microsoft Excel VBA を使用した。



図-1. 林地残材の積み込み作業  
Fig. 1 Loading operation of logging residues

**3. 採算性と地域における林地残材収穫輸送コストの試算方法** 採算性の試算は、時間観測により得られた数値をもとに白澤ら(3)のトラック輸送コスト推定式を使用し、林地残材の積み込みと合わせた収穫輸送コストを算出した。

地域における林地残材収穫輸送コストは、静岡県富士地域のスギ・ヒノキ民有林を対象に、林地残材である枝条の輸送先を分散型または集中型とする場合の2つのケースのコストを算出した。分散型では輸送候補地を各市町村役場、集中型では既存の大型木質バイオマス発電所

とした(図-2)。地域内で発生する枝条量は富士地域の施業条件を設定し、収穫表作成システム(6)と Hosoda and Ichara(1)の枝条量推定式を用いて間伐・主伐時の枝条量を推定、それを各林分の面積に乘じ、さらに伐期林齢で除することで算出した(表-1)。ここでの収穫対象となる枝条は、地域内での全木集材を前提にタワーヤードの集材距離300m以内の枝条とした。

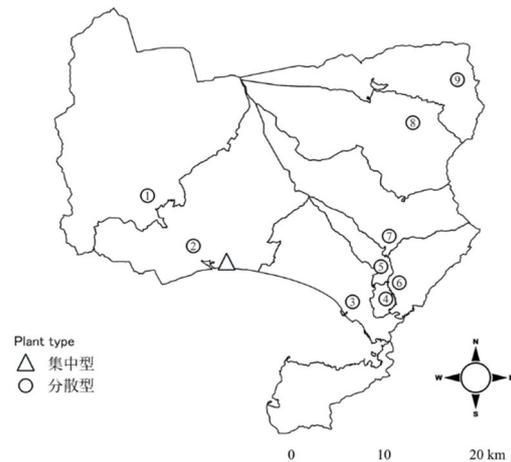


図-2. 想定したエネルギー利用施設の位置図  
Fig. 2 Decentralization of assumed energy utilization plants

表-1. 枝条発生量 (dry-t/ha)

伐期齢	地位					
	I	II	III	IV	V	
スギ	40	16.64	15.54	14.37	12.18	9.95
	50	20.05	18.61	17.22	13.92	11.28
	80	29.88	27.87	25.93	22.10	17.95
ヒノキ	45	25.64	18.86	13.94	11.76	8.81
	55	23.25	20.30	14.98	12.65	7.91
	90	39.68	36.55	27.57	23.34	14.21

分散型では地域の枝条収穫量を輸送先である各需要施設に均等に配分されるものとし、この時の地域における総収穫輸送コスト $C_t$ が最小となるように輸送先を決定した。これを線形計画法により、輸送問題(Transportation problem)として定式化した(式(1))。

制限条件を式(2)(3)(4)に示す。式(2)は、各林分における作業道端からの供給量 $x_{ij}$ は林分の供給可能量 $S_i$ を超えない。式(3)は、各需要地における林分からの総供給量 $x_{ij}$ は発電所の需要量 $d_j$ 以上となる。式(4)は、輸送量は非負であるための制約である。

$$\text{minimize } C_t = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq S_i, \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq d_j, \forall j \in J \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0, \forall i \in I, \forall j \in J \quad (4)$$

### III 結果と考察

**1. 作業時間観測結果** 時間観測による要素作業時間の集計結果を図-3 に示す。各要素作業時間が全体に占める割合は、大きい順に「押し込み」26%、「解放」19%、「把持し直し」13%と嵩張る林地残材の積み込み作業の特徴が大きく表れた結果となった。観測された積み込み作業は合計 11 サイクルで 2.64 wet-t の残材を積み込み、サイクルタイムの平均値±標準偏差は 55±18 秒/サイクルとなった。積み込みにおける生産性は、7.78 dry-t/時（調査地の含水率 100%db, 15.55 wet-t/時）、グラップルローダの 1 つかみ当たりの質量は 0.12 dry-t/回となった。Yoshioka *et al.* (8) のグラップル 132 kW では 1 つかみ当たり 0.138~0.212 dry-t/回であり、本研究のグラップルは 69 kW のため、十分なつかみ量で作業が進められたと考えられた。

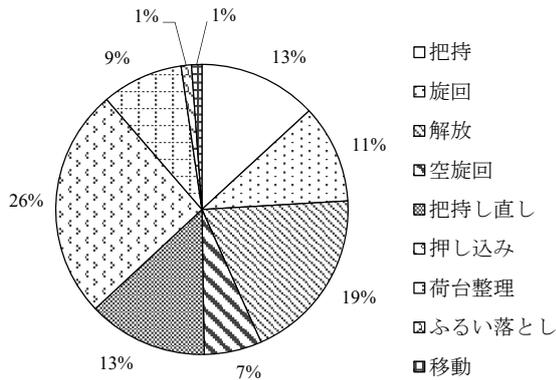


図-3. 要素作業時間の割合

Fig. 3 Percentage of the element operations time

**2. シミュレーションモデル構築と妥当性の検証** 時間観測の結果より、ある要素作業から次の要素作業へ移行する確率となる遷移確率を求めた（図-4）。さらに各要素作業時間の分布を対数正規分布に当てはめ（表-2）、林地残材の積み込み作業におけるシミュレーションモデルを構築した。

構築したシミュレーションにおいて、作業時間観測より得られた生産性と、モデルによる計算値とを比較することにより、構築したモデルの再現性を検証することを目的として、3,000 回の計算を行った。表-3 に観測値とシミュレーション結果の比較を示す。観測値 7.78 dry-t/時

と計算値の平均値 7.82 dry-t/時を比較すると 0.5% の過大となった。このことから概ね再現性のあるモデルを構築できたと考えられた。

	後続要素作業									
	把持	旋回	解放	空旋回	把持し直し	押し込み	荷台整理	ふるい落とし	移動	
先行要素作業	把持	0	0.455	0	0	0.364	0	0	0.182	0
	旋回	0	0	1.000	0	0	0	0	0	0
	解放	0	0	0	0	0	0.917	0	0	0.083
	空旋回	0.600	0	0	0	0.400	0	0	0	0
	把持し直し	0.444	0.444	0	0	0	0	0	0.111	0
	押し込み	0	0	0	0.636	0	0	0.273	0	0.091
	荷台整理	0	0	0	1.000	0	0	0	0	0
	ふるい落とし	0	0.667	0	0	0.333	0	0	0	0
	移動	0	0	0.500	0.500	0	0	0	0	0

図-4. 要素作業の遷移確率行列

Fig. 4 Transition probability matrix of element operations of the grapple excavator

表-2. 各要素作業時間の理論式

Table 2 Theoretical formula of the element operations time

要素作業	理論式
把持	$e^N(1.9193, 0.3404)$
旋回	$e^N(1.7636, 0.2850)$
解放	$e^N(2.1767, 0.3705)$
空旋回	$e^N(1.2455, 0.4245)$
把持し直し	$e^N(1.8392, 0.7019)$
押し込み	$e^N(2.5631, 0.4333)$
荷台整理	$e^N(2.6819, 0.7590)$
ふるい落とし	$e^N(2.3333, 0.4714)$
移動	$e^N(3.5000, 1.5000)$

ただし  $N(m, \sigma)$  は、平均  $m$ 、標準偏差  $\sigma$  の正規乱数を与える演算子

表-3. 観測値とシミュレーション結果の比較

Table 3 Comparison of the monitored and simulation results

	観測値	シミュレーション結果 平均値±標準偏差
積み込み生産性 (dry-t/時)	7.78	7.82±1.56

**3. 採算性の試算結果** 図-5 に輸送距離と収穫輸送コストの関係を示す。調査対象の輸送先は輸送距離 45.3 km であり、収穫輸送コストは 4,988 円/wet-t となる。高

知県での発電所着の買取価格は4,000円/wet-tであり(5),含水率の記載はないが調査対象地と同じく100%dbとして両者を比較すると36.9kmが損益分岐点となる輸送距離であった。

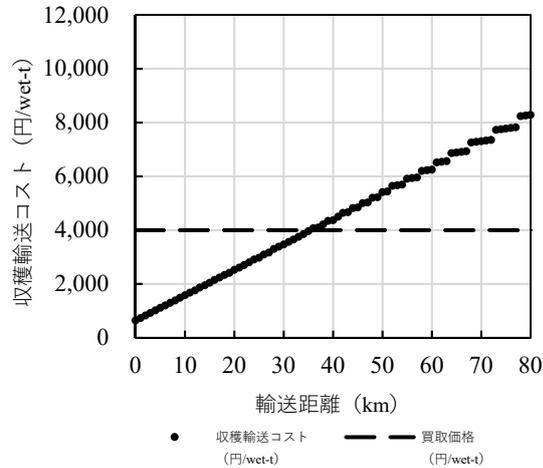


図-5. 輸送距離と収穫輸送コストの関係

Fig. 5 Relationship between the transportation distance and the loading and transportation cost

#### 4. 地域における林地残材収穫輸送コストの試算結果

地域内における収穫対象の枝条量は、全枝条量の96% (この値はタワーヤーダの集材可能面積割合とほぼ同義である) となる18,543 wet-t/年であった。この枝条を収穫対象とした時の分散型と集中型での輸送距離と収穫輸送コストの結果を表-4に示す。輸送距離が分散型において集中型よりも5.6km短く、収穫輸送コストは分散型利用が集中型よりも358円/wet-t安くなった。

表-4. 分散型と集中型における輸送距離と収穫輸送コストの比較

Table 4 Comparison of the transportation distance and the loading and transportation cost between decentralized and centralized types

	平均輸送距離 (km)	平均収穫輸送コスト (円/wet-t)
分散型	16.9	2,457
集中型	22.5	2,815

#### IV おわりに

本研究は林地残材の積み込み作業を調査し、時間観測結果をもとに林地残材の積み込み作業のモデル化と輸送も含めた採算性の検討、さらに地域における林地残材収穫輸送コストの試算を行った。その結果、次の結論を得た。

- 使用する機械でケースバイケースではあるが、林地残材の積み込み作業の生産性を検討可能なモデルを構築できた。
- 高知県でのバイオマス発電用枝条未利用材の買取価格4,000円/wet-tを参考にした時、36.9kmが損益分岐点となる輸送距離となった。
- 地域内での利用を考えた時、収穫輸送コストは分散型利用が集中型利用よりも358円/wet-t安くなった。
- 一般的に粉砕コストは分散型よりも集中型が安くなることが考えられ、分散型と集中型のチップ供給コスト比較に当たっては粉砕コストも考慮する必要がある。

謝辞: 本研究の一部は、JSPS 科研費(課題番号: 20K06121)の支援を受けて行われた。

#### 引用文献

- (1) Hosoda K, Iehara T (2010) Aboveground biomass equations for individual trees of *Cryptomeria japonica*, *Chamaecyparis obtusa* and *Larix kaempferi* in Japan. J. For. Res. 15: 299-306
- (2) 櫻井倫・岩岡正博・酒井秀夫・小林洋司 (1999) タワーヤーダ・プロセッサ・フォワーダ型集運材作業システムのシミュレーションによる検討. 東大演報 102: 113-132
- (3) 白澤絨明・長谷川尚史・梅垣博之 (2013) 原木流通における輸送車両選択によるコスト低減効果: 兵庫県を事例として. 森利誌 27: 7-15
- (4) 鈴木保志・福田雄治・山岡雄一郎・稲井康秀 (2017) 発電利用を想定した林地残材のトラック輸送における形態別容積比重と混載による充填効率向上の可能性の検討. 日エネ 96: 436-440
- (5) 鈴木保志・山崎真・渡辺直史・福田雄治 (2016) 木質バイオマス事業への供給を想定した架線集材による広葉樹皆伐作業の生産性と収支. 森利誌 31: 85-91
- (6) 鈴木善郎・野上啓一郎 (1998) 静岡県スギ及びヒノキ人工林システム収穫表の作成 長伐期施業に対応する密度管理と収穫予測システムの開発. 静岡林技セ研報 26: 15-49
- (7) Yoshida M, Sakai H (2014) Fuel chip supply system with low price mobile chippers. Croat. J. For. Eng. 31: 9-14
- (8) Yoshioka T, Sakurai R, Kameyama S, Inoue K, Hartsough B (2017) The optimum slash pile size for grinding operations: Grapple excavator and horizontal grinder operations model based on a Sierra Nevada, California survey. Forests 8: 442

## ダブルグリッド飛行での UAV-SfM による森林情報の計測精度および作業効率の検証

亀山翔平<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京農工大学地域環境科学部

**要旨:** 本研究は、UAV-SfM においてダブルグリッド飛行による空撮画像の撮影および画像処理を行うことは、森林情報の計測精度と作業効率から有効であるか検証することを目的とした。UAV は Inspire2 を使用し、飛行条件は異なる飛行高度 (100 m, 120 m) と飛行経路 (横経路, 縦経路) を組合わせた「ダブルグリッド飛行」および、飛行高度 100 m と 120 m を組合わせた「複数の飛行高度でのダブルグリッド飛行」とした。その結果、生成画像および森林情報の精度検証では、高精度での画像生成および森林情報の取得が可能となり、作業時間・コストの検証では、人的作業を必要としない作業を除くと従来の毎木調査と同程度であることが明らかとなった。そのため、UAV-SfM においてダブルグリッド飛行は高精度の森林情報を取得する一手法として有効であることが示唆された。

**キーワード:** UAV, SfM, ダブルグリッド飛行, 森林情報, 作業効率

### Verification of measurement accuracy on forest information and work efficiency in UAV-SfM by double grid flight

Shohei KAMEYAMA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of agriculture

**Abstract:** This study aimed to verify the effectiveness of capturing and processing aerial images for an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) - Structure from Motion (SfM) in double grid flight reading accurate forest information and work efficiency. The UAV used the Inspire2; the flight conditions were "double grid flight" combining of different flight altitudes (100 m or 120 m) and flight paths ("Lateral direction" or "Longitudinal direction"), and "double grid flight at multiple flight altitudes" combining flight altitudes 100m and 120m. As a result, the measurement accuracy verification of the generated data and forest information enabled the creation of generated images and the acquisition of forest information with high accuracy. The work time and work cost are comparable to the conventional forest inventory survey when human work is excluded. Therefore, capturing and processing aerial images for UAV-SfM in double grid flight is effective as a method of acquiring highly accurate forest information.

**Keywords:** Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Structure from Motion (SfM), Double grid flight, Forest information, work efficiency

#### I はじめに

近年、スマート林業によって ICT 等の先端技術の活用が推進され、森林情報の高度化、作業効率の向上、安全な労働環境の確保などに繋がっている(6)。特に、UAV (Unmanned Aerial Vehicle) においては、苗木等の資材の運搬、境界明確化などの測量、森林資源量の計測など多岐に活用されている(6)。しかし、境界明確化などの測量、森林資源量の計測においては、UAV による空撮画像と複数枚の画像から対象の形状を復元する SfM (Structure from Motion) 技術により画像処理する手法 (以下: UAV-SfM) によって作成された点群データなどの出来が精度に大きく影響する(1)。また、皆伐再造林の推進による苗木管理、森林整備における補助金の申請や検査など詳細な計測を必要とする業務においても UAV-SfM の活用が進んでいるため、これまで以上に高精度で簡易な情報取

得が求められる。そのため、点群データなどの出来に大きく左右する UAV による飛行条件に関する検証は、UAV-SfM の運用において基礎的なデータを提供するだけでなく、ICT 等の先端技術を使いこなす人材育成の観点においても重要になると考える。そこで、本研究では、UAV-SfM において 2 つの飛行経路が垂直に交差する飛行 (以下: ダブルグリッド飛行) による空撮画像の撮影および画像処理を行うことは森林情報の計測精度および作業効率の面から有効であるのか検証することを目的とした。

#### II 材料と方法

**1. 調査地概要** 調査地は静岡県三島市の人工林内に設定した (図-1)。調査地 (飛行エリア) の面積は約 1.4 ha、傾斜は 20.6°、樹種はスギが中心ではあるが一部に

ヒノキも混在している林分であった。また、飛行エリア内に UAV-SfM による森林情報の計測精度との検証を行うための毎木調査エリアを設定した。本研究において取扱う森林情報は立木本数と樹高とし、現地においては UAV の飛行と同時期に毎木調査を実施した。また、樹高は Vertex により計測した。毎木調査エリアは、面積が約 0.15 ha、傾斜が 16.6°、対象木が 100 本、平均樹高が 16.4 m であった。また、GCP は毎木調査エリアの隅に 3 か所および毎木調査エリア付近の作業道に 2 か所の計 5 か所に設置し(図-1)、位置情報は GARMIN 社製の eTrex20 を使用して計測した。

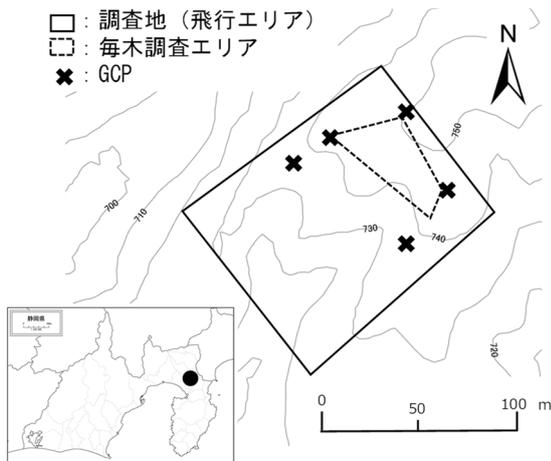


図-1. 調査地概要

Fig. 1 Location of survey site

**2. UAV の飛行条件** 本研究において使用した UAV は、DJI 社製の inspire2 であり、カメラは DJI 社製の Zenmuse X7 を搭載した。また、飛行ルートや撮影方法などの飛行条件の設定および UAV 離着陸の操作には DJI 社製の DJI GS PRO アプリケーションを使用した。UAV 飛行は、2023 年 5 月 11 日と 9 月 13 日 11~13 時に行い、飛行時の天候は晴れ、風速は 2~4 m/s であった。

UAV による飛行条件を表-1 に示す。なお、飛行条件(飛行高度(以下:H)、オーバーラップ(以下:OL)、サイドラップ(以下:SL))の設定は、本研究で使用する SfM ソフトウェアのマニュアル(4)を参考にした。「H100 m ダブルグリッド飛行(以下:H100\_DG)」と「H120 m ダブルグリッド飛行(以下:H120\_DG)」の OL, SL は同一の重複率ではあるが、ダブルグリッドとなるよう飛行経度が異なる「横方向」と「縦方向」(図-2)に設定した。

「複数の飛行高度でのダブルグリッド飛行(以下: Mix\_DG)は、写真の重複率は同一であるが、H100 m の飛行経路を「縦方向」と H120 m の飛行経路を「横方向」に設定した。また、ダブルグリッド飛行との比較・検証

を行うため、一般的に行われている飛行方法として、「H100 m シングル経路(以下:H100\_S)」と「H120 m シングル経路(以下:H120\_S)」の 2 条件と追加し、計 5 つの飛行条件を設定した。

表-1. UAV による飛行条件

Table 1 Flight conditions by UAV

飛行条件	H (m)	SL (%)	OL (%)	飛行経路
H100_S	100	90	90	横
H100_DG	① 100	90	90	横
	② 100	90	90	縦
H120_S	120	90	90	横
H120_DG	① 120	90	90	横
	② 120	90	90	縦
Mix_DG	① 100	90	90	縦
	② 120	90	90	横

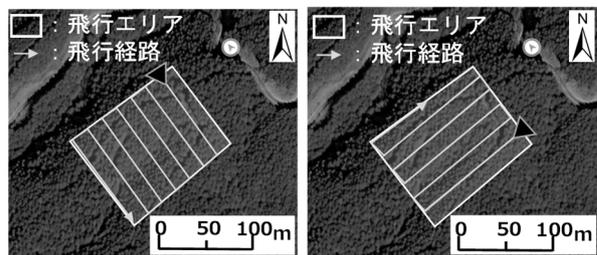


図-2. 飛行経路例 左:横方向, 右:縦方向

Fig. 2 Example flight path

Left: Lateral direction, Right: Longitudinal direction

**3. 空撮画像の SfM 処理と森林情報の計測** 空撮画像の SfM 処理および森林情報の計測には、Pix4D mapper(以下: Pix4D)、Blue Marble Geographics 社製の GlobalMapper と ESRI 社製の ArcGIS PRO を活用した。

Pix4D における空撮画像の SfM 処理は、①初期処理(基準点・画像スケール:フル)、②点群およびメッシュの作成(画像スケール:1/2、点密度:最適、マッチ最小数:3)、③DSM およびオルソ画像の作成の順に行った。また、SfM 処理に使用した PC のスペックは windows 10 Home、メモリが 32.0GB、CPU が Intel core i7-7700HQ である。

森林情報の計測には、国土地理院の基盤地図情報ダウンロードサービスから取得した地形データ(5 mDEM)、Pix4D により作成した点群データとオルソ画像を用いた。GlobalMapper および ArcGIS PRO による画像の解析方法は、UAV 立木調査マニュアル(5)を参考にした。

**4. 検証** 検証は、SfM 処理により生成された画像による検証、森林情報の計測精度の検証、作業時間およびコスト検証の 3 項目とした。生成された画像による検証は Pix4D によって SfM 処理後に出力される品質レポートの情報をもとに行った。森林情報については、立木本数と

樹高を検証項目とし、毎木調査した計測値を真値として比較した。また、樹高は ArcGIS PRO の解析により求めた計測値と真値との誤差の RMSE (平均二乗平方根誤差) および rRMSE (相対 RMSE) を求めて検証した。作業時間については、それぞれの森林情報の計測方法の時間観測結果から検証した。また、作業コストについては、時間観測した結果と国土交通省および農林水産省の労務単価表(2,3)の単価からコストを算出して検証した。

III 結果と考察

1. 生成画像による検証 生成画像による比較を表-2 に示す。解析枚数は、どの飛行条件においても解析に使用したすべての画像が Pix4D 上で処理された。処理領域、高密度点群数、平均密度、解析時間については、ダブルグリッドでの飛行にすることで増加する傾向が見られた。これは解析に使用した画像枚数の増加によるものだと考えられる。また、地上解像度は、ダブルグリッドでの解析による効果は見られなかった。高密度点群数、平均密度の増加が見られたため、ダブルグリッド飛行にすることで高精度での画像生成が可能になったと考える。

表-2. 飛行条件ごとの生成画像の比較

Table 2 Comparison of generated images per flight conditions

解析枚数 (枚)	処理領域 (ha)	地上解像度 (cm)	高密度点群数 (万点)	平均密度 (点/m)	解析時間 (h)
100_S	101	2.7	1,645	798	3
100_DG	195	3.0	2,568	1,132	7.2
120_S	76	3.1	1,303	514	2.4
120_DG	140	3.4	1,882	632	4.7
Mix_DG	170	3.3	2,218	768	6.7

2. 森林情報の計測精度の検証 樹頂点として抽出された立木本数は、H100\_S が 82 本 (81%)、H100\_DG が 71 本 (71%)、H120\_S が 99 本 (99%)、H120\_DG が 99 本 (99%)、Mix\_DG が 99 本 (%) であった。そのため、抽出本数については、ダブルグリッド飛行にすることで効果は見られなかった。また、H120\_S、H120\_DG、Mix\_DG で

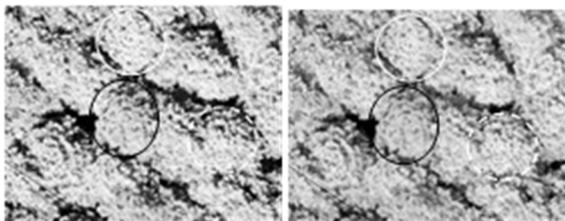


図-3. オルソ画像 左: H100\_DG, 右: Mix\_DG

Fig. 3 Orthomosaic images

Left: H100\_DG, Right: Mix\_DG

未抽出となった 1 本は、同じ対象木であった。しかし、オルソ画像を確認しても樹頂点の埋もれなどの傾向は見られなかった。また、H100\_S では 18 本、H100\_DG では 29 本の対象木が未抽出となった要因として、オルソ画像を確認した際に樹頂点がつぶれている箇所が見られたため、それが要因ではないかと考える (図-3)。

UAV-SfM による樹高計測値の RMSE と rRMSE を図-4 に示す。また、樹高計測は樹頂点の抽出された対象木のみを対象に実施した。その結果、RMSE は H100\_S が 3.2m (19.9%)、H100\_DG が 1.6m (9.1%)、H120\_S が 2.9 m (16.9%)、H120\_DG が 2.6m (14.2%)、Mix\_DG が 1.8 m (10.3%) となった。そのため、ダブルグリッド飛行にすることで計測精度の高い森林情報の取得が可能になった。また、異なる飛行高度によるダブルグリッド飛行にすることでより精度の高い森林情報の取得が可能であると考えられる。樹高の計測精度に与えた影響として、解析された点群データと比較して明らかに樹頂点がずれていることや 3D モデルでの樹頂点のつぶれ (図-3) が確認されたため、詳細ではない 5mDEM を地形データとして使用したことが影響したとも考えられた。

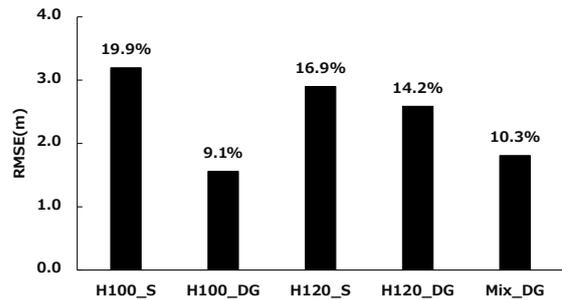


図-4. 樹高計測値の RMSE と rRMSE

Fig. 4 RMSE and rRMSE of estimated tree height

3. 作業時間・コストによる検証 毎木調査および飛行条件ごとの作業時間を図-5 に示す。どの飛行条件においても、UAV-SfM による計測作業が長時間であった。しかし、空撮画像の処理については、人的な作業を必要としない場合がある (例: Pix4D に空撮画像の挿入を行い、処理方法を設定すれば、後の SfM 処理作業はソフトウェアにて自動で行われる)。作業時間の 4 割以上がその人的作業を必要としない空撮画像の処理となっている。そのため、全体の作業時間は、毎木調査の方が短時間ではあるが、人的作業を必要としない作業を除くと毎木調査と同程度となった。また、ダブルグリッドでの飛行を行っても、人的作業を必要とする作業時間に大きな違いは見られなかった。ダブルグリッド飛行をすることで画像

枚数が増え作業時間の増加がみられるが、その多くが人的な作業を必要としない作業時間のため、ダブルグリッド飛行による UAV-SfM を行った場合にでも作業時間の違いは僅かであると考ええる。

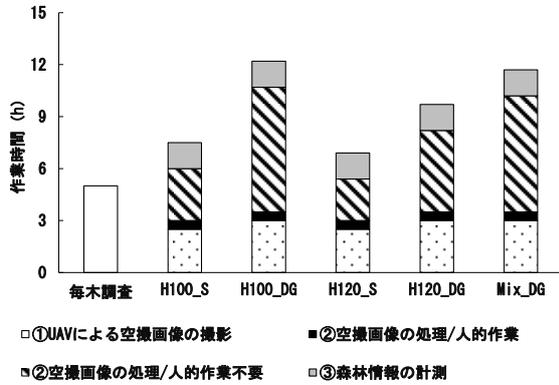


図-5. 毎木調査との作業時間の比較

Fig. 5 Comparison of work times with the forest inventory survey

毎木調査および飛行条件ごとの作業コストを図-6に示す。また、人的作業が不要な空撮画像の処理における作業コストはかからないものとした。毎木調査の作業コストと比較すると一般的なシングル、ダブルグリッドでの飛行条件ともに同程度であるため、どの飛行条件においても毎木調査と同程度での作業コストであると考ええる。一般的なシングル飛行とダブルグリッド飛行での違いとしては、作業時間に違いがあった UAV による空撮画像の撮影のみである。また、どの飛行条件においても UAV による空撮画像の撮影が作業コストの大部分を占めている。UAV による画像撮影のための飛行には専門的な知識・技術を要する複数名による作業員での調査（本研究では、撮影士と撮影助手の計2名）を必要とするためであると考ええる。

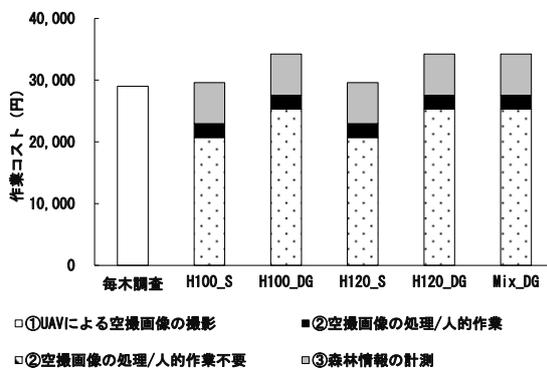


図-6. 毎木調査との作業コストの比較

Fig. 6 Comparison of work costs with the forest inventory survey

#### IV まとめ

本研究では、ダブルグリッド飛行での UAV-SfM による森林情報の計測精度と作業効率を検証することを目的とした。その結果、生成画像による検証では、ダブルグリッド飛行にすることで解析時間の増加が見られたが、高精度のデータ取得が可能であった。森林情報の計測精度の検証においては、高精度の森林情報の取得が可能となった。最後に、作業時間・コストの検証では、人的作業を必要としない作業を除くと従来の毎木調査と同程度であることが明らかとなった。そのため、UAV-SfM においてダブルグリッド飛行による撮影は高精度の森林情報を取得する一手法として有効であることが示唆された。また、複数高度によるダブルグリッド飛行はより効果的であると考ええる。

今回の試験は小面積での検討であったため、よりまとまりのある試験地での作業性の検証が必要である。また、今回の飛行高度は 100 m と 120 m のため、飛行高度差が 20 m による検討であったが、より飛行高度差を高く設定したダブルグリッド飛行による検討も必要だろう。

**謝辞:** 本研究は、JSPS 科研費「課題番号: 22K14921」の助成を受けた。この場を借りて感謝申し上げる。

#### 引用文献

- (1) Kameyama S, Sugiura K (2020) Estimating tree height and volume using unmanned aerial vehicle photography and SfM technology, with verification of result accuracy. *Drones* 4: 19
- (2) 国土交通省 (2023) 令和 5 年 3 月から適用される設計業務委託等技術者単価について. <https://www.mlit.go.jp/tec/content/001587145.pdf> (2023 年 10 月 20 日参照)
- (3) 農林水産省・国土交通省 (2023) 令和 5 年 3 月から適用する公共工事設計労務単価表. <https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyosei/supply/sonota/attach/pdf/index-151.pdf> (2023 年 10 月 20 日参照)
- (4) Pix4D (2017) Pix4Dmapper 4.1 USER MANUAL. <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/204272989-Offline-Getting-Started-and-Manual-pdf> (2024 年 2 月 8 日参照)
- (5) 林野庁 (2019) UAV 立木調査マニュアル. [https://www.rinya.maff.go.jp/j/gyoumu/gijutu/attach/pdf/syuukaku\\_kourituka-2.pdf](https://www.rinya.maff.go.jp/j/gyoumu/gijutu/attach/pdf/syuukaku_kourituka-2.pdf) (2023 年 10 月 20 日参照)
- (6) 林野庁 (2023) スマート林業実践マニュアル. [https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/smartforest/attach/pdf/smart\\_forestry-1.pdf](https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/smartforest/attach/pdf/smart_forestry-1.pdf) (2023 年 10 月 20 日参照)

## 地上レーザ計測により取得した DEM を用いた林内路網計画

石井 航<sup>1</sup>・亀山翔平<sup>2</sup>・矢部和弘<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京農業大学大学院地域環境科学研究科・<sup>2</sup>東京農業大学地域環境科学部

**要旨**：本研究は、地上レーザ計測のデータから作成した 0.5 mDEM を使用して林内路網計画を行い、その有効性を検証することを目的とした。地上レーザ計測は OWL、路網計画は ArcGIS Pro を使用した。0.5 mDEM との比較として、基盤地図情報 5 mDEM を用いて同様の作業を行った。その結果、0.5 mDEM により計画された路線は、5 mDEM の計画と比較し 2 本多い結果となった。また、計画された路線の位置は同様となったが、0.5 mDEM のほうが延長距離は長い計画となった。計画路線から発生させたバッファによるカバー率は、0.5 mDEM による計画のほうが、路線本数が多く延長距離も長かったためより高い結果となった。そのため、地上レーザ計測による結果から作成した 0.5 mDEM を使用した路網計画は有効であると考えられる。

**キーワード**：地上レーザ、GIS、森林作業道、林内路網計画、DEM

### Planning a forest road network using a digital elevation model obtained by terrestrial laser scanning

Wataru ISHII<sup>1</sup>, Shohei KAMEYAMA<sup>2</sup>, Kazuhiro YABE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Regional Environmental Sciences, Tokyo University of Agriculture

<sup>2</sup> Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

**Abstract**: The objective of this study was to verify the effectiveness of a 0.5 m digital elevation model (DEM) created from terrestrial laser scanning for planning a forest road network. The same work was also performed using a 5 m DEM from Foundation Geographical Data as a comparison with the 0.5 m DEM. As a result, two more routes were planned to use the 0.5 m DEM than when using the 5 m DEM. The locations of the planned routes were similar, but the distances were longer in the 0.5 m DEM. The buffer coverage generated from the planned routes was higher for the 0.5 m DEM plan than that found for the 5 m DEM plan due to the greater number of routes and longer distances. Therefore, the 0.5 m DEM is effective for planning a forest road network.

**Keywords**: terrestrial laser scanning, geographic information system (GIS), strip road, forest road network, digital elevation model (DEM)

### 1 はじめに

林内路網計画を行う手法として数値標高データ (DEM) 使用する方法があげられる (4)。森林において、DEM は既存路網の把握や新規作業道計画における地形判読に用いられる。DEM は、行政や地方自治体が管理しているものを取得する方法および独自に計測して取得する方法の 2 種類があげられる。公開されているものの一例には、国土交通省国土地理院の基盤地図情報にて公開されている 5 m もしくは 10 mDEM があげられる。基盤地図情報の DEM は全国的に広く整備されているほか、オンラインにて簡易に入手することが可能である (3)。また、2023 年 11 月から 1 mDEM の提供も始まっている (3)。しかし、路網計画を行うための既存路網の把握や地形判読を行うためには 0.5 mDEM が必要となる (4)。また、地方

自治体が管理するものは提供されている地域が限定的であることが挙げられる (5)。独自に入手する方法としては、レーザ計測によって取得する方法があげられる。その利点として、既存作業道の把握や新規作業道を計画するうえで考慮すべき危険箇所の把握が可能であることが挙げられる。レーザ計測の方法として航空レーザ、UAV レーザ、地上レーザが挙げられる。航空レーザは広範囲にわたる計測、UAV レーザは空中からの詳細な地形情報の取得、地上レーザは林内からの計測による高精度な地形情報の取得が可能となる (4)。レーザ計測の手法としてこれら 3 手法があげられるが、今回は地上レーザを使用することとした。地上レーザを使用する利点として、詳細な地形情報の取得が可能であるほか、林内での計測を行うことから現地踏査を兼ねるため、路網計画

を行うために必要な情報を取得する手段として有効であると考えられる。そこで、本研究では地上レーザ計測によって得たデータを処理した 0.5 mDEM を使用して林内路網計画を行い、その有効性を検証することを目的とした。

## II 材料と方法

**1. 調査地** 調査地は、福島県いわき市にある遠野興産株式会社の所有林とした。対象地の面積は 2.2 ha、地上レーザの結果から算出した平均傾斜は 30.5 度、標準地調査による平均樹高は 23.4 m であった。調査地の地形の特徴は、中心部に谷が入っているほか、複数の尾根谷があるしわの多い地形となっていた。ここでは車両系機械を使用した皆伐が想定されている。

**2. 地上レーザ計測** 地上レーザ計測に使用した機器は、アドイン研究所製の森林 3 次元計測機器 OWL (以下、OWL) である。計測日は 2023 年 5 月 24 日から 26 日、6 月 17 日から 18 日の計 5 日間行った。天候はいずれの日も晴れか曇りであり、降雨のない日であった。

OWL による計測方法を図-1 に示した。OWL による計測方法は、メーカーが推奨する、計測箇所が 10 m 間隔となるように行った (7)。そのため、はじめに既存作業道に 10 m ごとに杭を設置した。そこから斜面の両側に向かって 10 m ごとに目印を付けたロープをはり、目印の地点にて計測を行った。その時、DEM を作成する際に、計測結果から作成した点群に地理的な座標を付与する必要があるため、その作業時に使用する反射材のついた杭を設置しスキャン時に写した。また、同時に杭地点にて GNSS による座標の計測を行った。

**3. 0.5mDEM の作成** 地上レーザ計測の結果から点群データを作成し、以下の手順によって処理することで 0.5

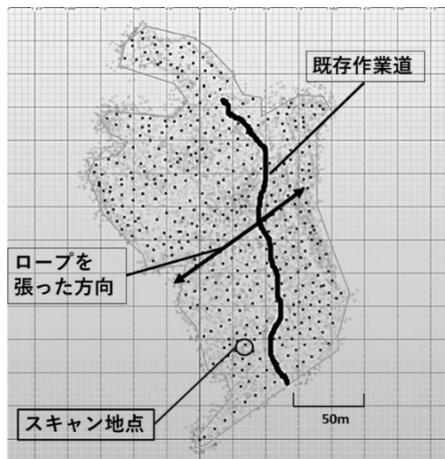


図-1. 地上レーザによる計測地点

Fig. 1 Measurement points using terrestrial lasers

mDEM を作成した。計測結果の処理は、①地上レーザ計測の結果から点群データの作成、②Metashape によるファイル形式の変換、③位置情報の付与、④DEM の作成の順に行った。

①点群データの作成には OWL Manager を使用した。②作成した点群データを GIS が対応しているファイル形式に変換するために Agisoft 社の Metashape を使用して PCD 形式から LAS 形式へ変換を行った。

ここまで作成した点群は地理的な座標をもっていないため、③位置情報の付与を行った。フリーソフトの Cloud Compare を使用し、点群内の計測時に写した杭の座標と GNSS にて計測した座標を結合させることによって点群データに地理座標を付与した。点群データに入力した座標は、平面直角座標系を使用した。また、GNSS にて計測した標高に関しては精度に不安があるため、点群が持っていた Z 座標をそのまま高さとして使用した。

④最後に作成した地理座標を持つ点群データを Esri 社の ArcGIS Pro (以下、GIS) の「LAS の地表分類ツール」を用いて地表面を分類し、その結果から DEM を作成した。このツールは点群データから地表面のみを分類するツールである(2)。このツールを用いて地表面のみ分類した結果を 0.5 m メッシュで出力することで、0.5 mDEM を作成した。また、比較対象となる 5 mDEM は基盤地図情報ダウンロードサービスから入手した。

**4. 計画方法** 対象地にある既存作業道にて集材可能な範囲をバッファによって明らかにし、その範囲外となる場所に対して新規作業道の計画を行うこととした。既存作業道とそのバッファを図-2 に示した。レーザ計測時の現地踏査から、既存作業道が対象地中心の谷筋にある路線と対象地内の東側を通り、対象地外の北側を回り込んだのち、また対象地内の北西方向に入って終点となる 2 本の路線があることを把握した。バッファの範囲は車両系機械による集材が行われることから、機械のアームが届く範囲に伐倒した材が到達する距離を目安とすることとした。そのため、対象地の平均樹高が 23.4 m であること、さらに機械のアームが安全に届く範囲を考慮して、水平距離 25 m とした。また、2 本の既存作業道は対象地内での接続がないことから、この路線を接続する計画も同時に行うこととした。

作業道の計画は GIS の最小領域接続ツールを使用した。このツールは 2 つ以上の領域間の最適な接続ネットワークを計算するものである(1)。このツールを用いて傾斜や危険箇所を考慮した設計候補となる線を作成し、選択することによって作業道の設計を行うことが可能となる

と考える。始めに、傾斜角 25 度未満の地点を接続するような線を作成した。この時、線を引く際のコストを傾斜角として設定し、距離と傾斜角を加味した際にコストが最小となるように設定した。また、急傾斜地への設計を避けるため、傾斜角 40 度以上の箇所のラスターデータを作成し、それをバリアと設定することによって計画が行えないよう制限をかけ、候補となる線を作成した。しかし、この設定のみであると斜面を横切らず、勾配が急であってもまっすぐ上ったほうが良いと判断され、急勾配となっている候補線が現れる。そのため、候補となる各線の平均勾配を算出し、森林作業道作設指針 (6) で求められている勾配 10° (18%) 以下となっている線を描出した。最後に抽出した線を通る平面線形を手作業にて入力した。

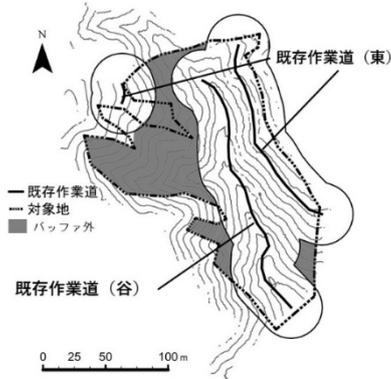


図-2. 既存作業道とそのバッファ  
Fig. 2 Existing working road and its buffers

### III 結果と考察

0.5 mDEM を使用して計画を行った結果を図-3 に示した。また、それらの直線距離、延長距離、路線の平均傾斜、迂回率、カバー率を表-1 に示した。同様の作業を 5 mDEM にて行った結果を図-4、表-2 に示した。

0.5 mDEM では 6 本、5 mDEM では 4 本の作業道が計画された。それらを比較すると、①, ②, ③, ⑥の路線については、同様の位置に計画されたが、0.5 mDEM で計画された路線よりも 5 mDEM による計画のほうが短い結果となった。総延長についても、0.5 mDEM による計画は 488.22m、5 mDEM による計画は 241.6m となった。また、0.5mDEM では計画ができた④, ⑤の位置にあたる路線を 5 mDEM では計画することができなかった。

計画路線の平均傾斜は、どの計画においても森林作業道作設指針 (6) にて定められている 10° (18%) 以内に計画されている路線が現れた。また、超えている路線の最大勾配は、0.5 mDEM による計画で 10.6° (18.7%)、5 mDEM による計画で 11.8° (20.9%) であった。

表-1. 0.5 mDEM による路線の計画結果

Table 1 Route planning results using 0.5 m DEM

	①	②	③	④	⑤	⑥
直線距離m	98.23	49.67	42.17	67.47	49.77	54.5
延長距離	190.2	60.7	45.1	69.26	55.76	67.2
平均傾斜(度)	10.8	9.39	7	9.1	12.5	11.7
迂回率	1.94	1.22	1.07	1.03	1.12	1.23
カバー率(%)	99.1					

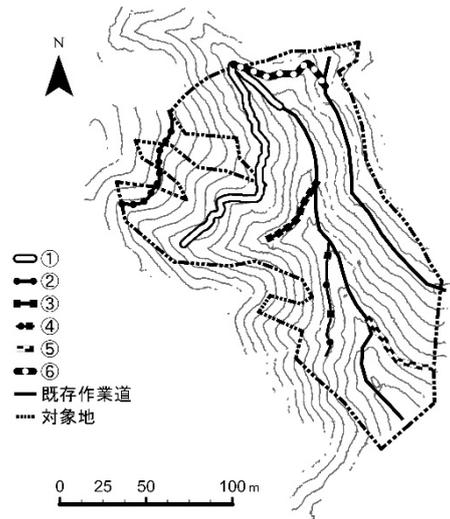


図-3. 0.5 mDEM を使用した路網計画  
Fig. 3 Road network planning using 0.5 m DEM

表-2. 5 mDEM による路線の計画結果

Table 2 Route planning results using 5 m DEM

	①	②	③	④	⑤	⑥
直線距離m	46.88	24.89	25.03	-	-	49.2
延長距離	133.39	24.89	25.03	-	-	58.29
平均傾斜(度)	8	1	11.8	-	-	7.4
迂回率	2.85	1.00	1.00	-	-	1.11
カバー率(%)	83.9					

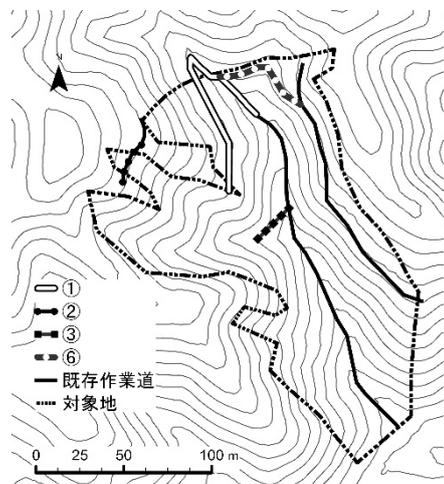


図-4. 5 mDEM を使用した路網計画  
Fig. 4 Road network planning using 5 m DEM

計画路線を含めたバッファを図-5に示した。計画路線によって発生させたバッファによるカバー率はそれぞれ、0.5 mDEM が 99.1 %，5 mDEM が 83.9 % となった。0.5 mDEM は，5 mDEM で計画された作業道と比較し，延長距離が長い結果となったため，既存作業道で足りなかった範囲を覆う結果となった。

計画された路線の迂回率は，路線の②，③，④について，いずれも 5 mDEM のほうが小さくなり，より直線的な結果を示した。5 mDEM はメッシュサイズが 0.5 mDEM に比べ大きいことから直線的になったと考えられる。

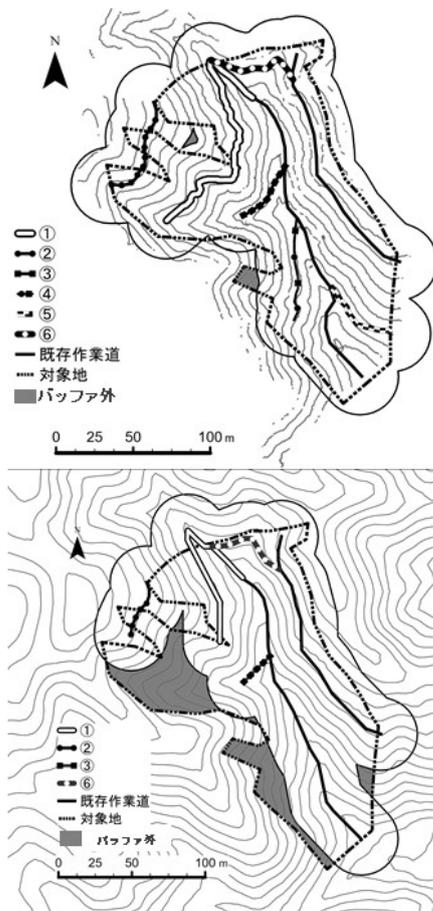


図-5.計画路線に対するバッファ  
(上：0.5 mDEM,下：5 mDEM,)

Fig. 5 Buffer for planned route (top: 0.5 m DEM, bottom: 5 m DEM)

#### IV まとめ

地上レーザ計測の結果から作成した 0.5 mDEM を用いた計画を行い，5 mDEM による結果と比較し有効性を検証した。0.5 mDEM で示された計画された路線は 5 mDEM よりも 2 本多く，さらに延長距離の長い結果となった。その結果，計画路線によるカバー率は 0.5 mDEM による計画がより高い結果となった。以上のことから，0.5

mDEM を使用した計画では，5 mDEM よりも対象地全体をカバーする計画が可能であることが示されたため，林内路網計画を行うには地上レーザ計測の結果から処理した 0.5 mDEM による計画が有効であると考えられる。今回の計画では，地上レーザ計測の結果によって取得ができた DEM を利用し，主に傾斜角に着目した計画を行ったが，今後は地上レーザによって得られる，立木位置の情報から支障木を考慮した計画など，よりレーザ計測の結果を活かした路網計画を検討したいと考える。

**謝辞：**本研究の一部は，NEDO 受託研究（プロジェクト名：早生樹による木質バイオマス燃料の安定的供給事業体形成のための高効率生産システム）の助成を受けて実施した。この場を借りて感謝申し上げたい。

#### 引用文献

- (1) Esri 最適領域接続. <https://pro.arcgis.com/ja/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/optimal-region-connections.htm> (2023.11.09 参照)
- (2) Esri LAS の地表分類. <https://pro.arcgis.com/ja/pro-app/3.1/tool-reference/3d-analyst/classify-las-ground.htm> (2024.02.06 参照)
- (3) 国土交通省国土地理院:基盤地図の整備状況. [https://maps.gsi.go.jp/#5/35.942436/138.515625/&base=std&ls=std%7Cchiikimesh%7Cfgd\\_dem5a\\_area\\_dtil&disp=111&lcd=fgd\\_dem5a\\_area\\_dtil&vs=c1g1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f0&d=m](https://maps.gsi.go.jp/#5/35.942436/138.515625/&base=std&ls=std%7Cchiikimesh%7Cfgd_dem5a_area_dtil&disp=111&lcd=fgd_dem5a_area_dtil&vs=c1g1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f0&d=m) (2024.02.06 参照)
- (4) 林野庁 (2018) 高精度な森林情報の整備・活用のためのリモートセンシング技術やその利用方法等に関する手引き. [https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/smartforest/attach/pdf/smart\\_forestry-20.pdf](https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/smartforest/attach/pdf/smart_forestry-20.pdf) (2023.11.09 参照)
- (5) 林野庁 (2022) 航空機 LiDAR データを使った地位指数分布図の作成の手引き. [https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/smartforest/attach/pdf/smart\\_forestry-13.pdf](https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/smartforest/attach/pdf/smart_forestry-13.pdf) (2023.11.9 参照)
- (6) 林野庁 (2023) 「森林作業道作設指針」の一部改訂について. <https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sagyoudo/attach/pdf/romousuisin-2.pdf> (2023.11.09 参照)
- (7) 森林 3 次元計測システム OWL: OWL の林内計測. [https://www.owl-sys.com/owl\\_spec\\_list/use\\_owl#space](https://www.owl-sys.com/owl_spec_list/use_owl#space) (2023.11.9 参照)

## ハチクの酵素糖化特性

瀬山智子<sup>1</sup>・坂本奈々<sup>1</sup>・浅利匡哉<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京農工大学地域環境科学部

**要旨:** 竹は生活の中で活用されていたが、プラスチックの普及により利用量が減少し、放置竹林が増加した。近年、脱プラスチックが求められているため、再び天然資源が着目され、竹も見直されている資源の一つである。本研究では竹の有効利用の一つとして緻密な材質であるハチク (*Phyllostachys nigra*) に着目し、新竹と古竹を用いて酵素糖化特性を検討した。その結果、3.0 M, 24 時間の前処理条件において新竹と古竹ともに最も高い遊離グルコース量を得た。よって、生育年数に影響を受けないことは活用できる資源の可能性を広げる大きな利点である。また、酵素糖化における律速因子を明らかにするため、光学顕微鏡により組織構造のサイズの変化を観察した結果、表層組織の分解を促進することで糖化効率が向上すると期待される。

**キーワード:** タケ, ハチク, アルカリ前処理, 酵素糖化

### Enzymatic saccharification properties of *Phyllostachys nigra*

Tomoko SEYAMA<sup>1</sup>, Nana SAKAMOTO<sup>1</sup>, Masaya ASARI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

**Abstract:** Bamboo has been used in daily life, but the amount used has decreased due to the increase plastics, and then, the number of abandoned bamboo forests has increased. Due to the need of plastic free, attention is once again being focused on natural resources. Bamboo is one of the resources. In this research, *Phyllostachys nigra* was selected as a sample to investigate the enzymatic saccharification properties using both new and old bamboo. The pretreatment condition of 3.0 mol/l, 24 hours gave the best results in both samples. Not affected by growing years is big advantage to utilize a biomass. To clarify the rate-limited factor of enzymatic saccharification, it was attempted to observe the tissue structure of the bamboo samples using light microscopy. In the results, it was indicated that acceleration of surface tissue decomposition is required to increase of saccharification ratio.

**Keywords:** Bamboo, *Phyllostachys nigra*, alkaline pre-treatment, Enzymatic saccharification

### I はじめに

竹は日用品から食品に至るまで生活に身近な植物であった。しかし、安価なプラスチック製品の普及等により活用の機会が減少したことにより、竹林管理者の高齢化や後継者不足と相まって、放置竹林が増加している。竹林面積は、2021年には約16万haであり、竹林と竹が25%以上侵入している森林を合わせた面積は約42万haと推計されている。さらに、竹材の生産量は、1960年には1347万束であったのに対し、2010年には96万束となっている。なお、竹林面積と竹材生産量ともに鹿児島県が第1位である(3)。竹は、樹木よりも成長が早く収穫するまでの期間も短い利点がある一方で、森林内へ侵入したために森林保育に支障をきたす場合や、根や地下茎の成長に伴い道路に亀裂が生じた場合などの問題も発生している。さらに、竹林内に枯竹が放置されお互いに倒れかかっているような光景も目にすることもあることから、放置竹林の問題を解決するためには、タケの有効利用を

提案することが急務である。また、竹は整備されている竹林からも毎年一定の量が搬出されているため、有効利用の提案は放置竹林の問題を解決するだけでなく、健全な竹林を維持するための整備にも必要である。

わが国では、モウソウチク (*Phyllostachys pubescens*)、マダケ (*Phyllostachys bambusoides*) およびハチク (*Phyllostachys nigra*) が3大有用竹として知られており、ハチクは最も早い時代に日本に導入されたとみなされている(2)。また、耐寒性があり北海道南部、北陸地方、山陰地方などの日本海側でも生育する(8)が、稈の弾性が乏しいため、強風により曲がってしまうと元に戻らないことや積雪により折れてしまうこともある。さらに、繊維・維管束の径が小さく数が多い特徴があり、材質が緻密で軸方向に整然と並んでいるため縦に割り易く、細割するような茶筌などの加工に適していると考えられている(1,7)。なお、竹資源の産業利用が最も多く行われている鹿児島県では、タケノコとして食用にされている(6)。

近年、天然資源が再び注目されるようになり、脱プラスチックなどにも貢献できるような幅広い用途の開発が求められている。竹の利点を活かせるような利用方法を提案するため、本研究では、材質が緻密というハチクの特徴に着目し、変換方法の中でも酵素糖化を試みた。酵素による糖質成分の分解で得られるグルコースは、様々な物質や製品の原料となる成分であることから、バイオマスの変換方法についての知見は重要であると考えられる。特に、リグノセルロース系バイオマスは、主要構成成分に占める糖質も割合が高く、有用な資源である。

よって、緻密な材質であるハチクは、バイオマスの多いことが期待される一方で、酵素による分解の難しい部位があるのではないかと考え、律速因子を明らかにするために酵素糖化特性を検討した。酵素糖化を妨げるリグニンを除去するためのアルカリ前処理の条件を変え、得られた遊離グルコース量でその効果を評価した。さらに、酵素糖化反応における律速因子を明らかにするために光学顕微鏡を用いて組織構造を観察し、サイズの変化から考察した。

## II 材料と方法

**1. 試料の採集** ハチク (*Phyllostachys nigra*) を試料として用いた。静岡県南伊豆町にて新竹と古竹を採集し、新竹は1年目、古竹は3年以上経過した生育年数とした(図-1)。



図-1. ハチク (*Phyllostachys nigra*)  
静岡県南伊豆町にて採集

Fig. 1 A bamboo (*Phyllostachys nigra*) harvested at Minami-Izu region in Shizuoka prefecture

## 2. 実験方法

**2.1 供試試料** 採集したハチクは、表皮と共に卓上ポ

ール盤で粗く削った後にウイリーミルで粉碎した。粉碎後、ふるいを通し、粒度を40~100メッシュに調整した。

**2.2 成分分析** 新竹と古竹における、アルコール・ベンゼン抽出物、ホロセルロース、リグニンおよび水分の割合を求めた。なお、繰り返し回数は3回とした。また、t検定により有意差を求め、 $p < 0.05$ とした。

**2.3 アルカリ前処理** 水酸化ナトリウム水溶液を用いた。固液比は5%とし、期間と濃度を以下のように設定した。長期間処理は、期間1か月間、濃度0.1, 0.5, 1.0 Mとした。短期間処理は、期間24時間、濃度1.0, 3.0 Mとした。なお、前処理の環境は、室温、静置とした。

前処理後は中和し、洗浄した後に凍結乾燥させた試料を酵素糖化処理に供した。

**2.4 酵素糖化処理** 前処理後または未処理の試料に以下の酵素を混合して加え、反応させた。酵素は、Cellulase"ONOUKA"R10, Celluclast 1.5L,  $\beta$ -glucosidaseの3種類を用い、0.05 M クエン酸緩衝液 (pH 5.0) に溶解させた。なお、酵素処理条件は、50°C, 24時間、振とうは60往復/分とした。なお、固液比は5%とした。

また、反応後はヒートブロックで酵素を失活させた後に上清を遠心分離にて回収し、遊離グルコースの定量に供した。

**2.5 遊離グルコースの定量** 回収した糖と糖化処理後の上清をフィルター (ADVANTEC) でろ過し、夾雑物を除去した後にグルコース C-II テストワコーを用いて定量した。付属のグルコース標準溶液で検量線を作成し、96well プレートを用いて吸光度を測定した。なお、遊離グルコースは、試料1g当たりの量として算出した。

また、Tukeyを用いて有意差を求め、 $p < 0.01$ とした。

**2.6 光学顕微鏡観察** 未処理、2.3のアルカリ前処理後および2.4の酵素糖化処理後の試料を光学顕微鏡 (OLYMPUS) を用いて観察した。なお、未処理の試料は風乾、前処理後と酵素糖化処理後の試料は凍結乾燥とし、3.0 M, 24時間の条件で前処理した新竹を用いた。

また、撮影した画像は、画像解析ソフト ImageJ を用いてサイズを測定した。

## III 結果と考察

### 1. 成分分析

新竹と古竹の成分分析の結果を表-1に示した。アルコール・ベンゼン抽出物とホロセルロースは古竹の方が有意に高い値であった。生育年数の増加に伴い、堆積量が増加したと考えられる。一方、リグニンは、古竹の方が多いのではないかと予想したが、有意差は認められなかった。よって、ハチクは、早い時期にリグニンの堆積を

完了させているのではないかと推察した。

表-1. ハチクの成分組成

Table 1 Chemical components of *Phyllostachys nigra*

	新竹 (%)	古竹 (%)
アルコール・ベンゼン抽出物	1.49±0.001	3.12±0.001*
ホロセルロース	62.6±0.001	66.1±0.0003*
リグニン	24.6±0.002	24.4±0.001

(平均値±標準偏差), T-test ( $p < 0.05$ )

## 2. 酵素糖化特性

### 2.1 アルカリ前処理

脱リグニンの効果を目的に、アルカリの濃度と処理期間を変えて効果を検討した。アルカリの濃度は高いほど、得られた遊離グルコースの値は高い傾向を示した(図-2)。特に、3.0 Mにおいては、24時間の短期間の処理であったが、最も高い遊離グルコース量を得た。筆者らのこれまでの報告(4,5)と同様に、ハチクにおいてもアルカリの

濃度が高い方が脱リグニンの効果が高いことが明らかとなった。

また、処理期間については1.0 Mにおいて長期間の方が高い値であった。さらに、長期間処理の0.5 Mと短期間処理の1.0 Mから同等の遊離グルコースが得られた。よって、長期間処理することによって、試薬が細胞壁の中へ浸透して効果が向上すると考えられることから、0.5Mの濃度でも1.0 M試薬の節約にも貢献できると期待される。

### 2.2 生育年数

同じアルカリ前処理の濃度の時に新竹と古竹を比較すると、得られる遊離グルコース量に有意な差がない場合が多かった(図-2)。よって、生育年数に影響を受けずに利用することが可能であることが明らかとなったことから、竹林内での新竹や古竹の選別は不要であり、有効に活用できると考えられる。

一方で、成分分析の結果から、糖質成分であるホロセルロースは古竹の方が高い値であったことから、前処理条件を3.0 Mで1か月間のように長期間にすることによって、より脱リグニン効果が向上し、さらに高い遊離グルコース量が得られるのではないかと期待される。

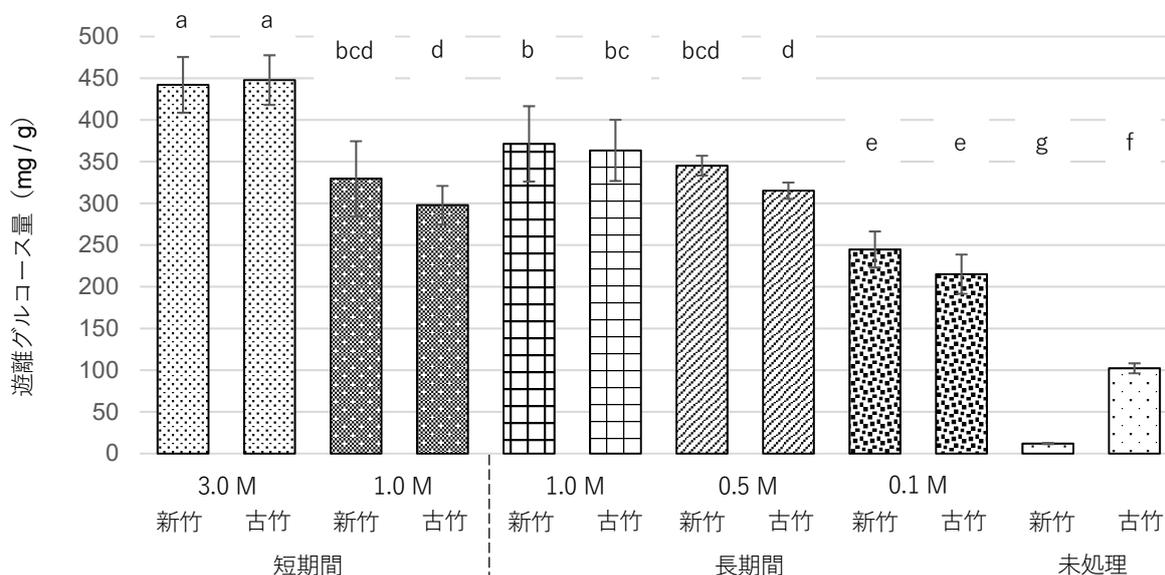


図-2. ハチク (*Phyllostachys nigra*) の酵素糖化における遊離グルコース量 (平均値±標準偏差) 異なる記号間で有意差あり ( $p < 0.01$ )

Fig. 2 Amounts of free glucose from *Phyllostachys nigra* from enzymatic saccharification (mean±SD)

No significant difference between same letters ( $p < 0.01$ )

### 2.3 光学顕微鏡観察

3.0 M, 24 時間の条件でアルカリ前処理した新竹を試

料として光学顕微鏡を用いて観察した。未処理、アルカリ前処理後および酵素糖化後の試料について、柔細胞と

表層組織に着目して未処理から各処理後における形状変化を観察した。その結果を図-3と図-4に示した。

図-3は、柔細胞のサイズの変化を示した。未処理とアルカリ前処理ではほとんど形状に変化は認められなかったことから、脱リグニンのみでの処理では形状は保たれ顕著な崩壊等は生じないと考えられる。一方、酵素糖化処理後では長辺と短辺ともに小さくなっていったため、酵素により、異方性なく分解されたと考えられる。柔細胞は、表層組織よりも細胞は大きく細胞壁が薄い特徴があるため、全体的に酵素による分解が進行したと考えられる。また、維管束は生育の早い段階で木化が進行することから、律速因子になりうると考えていたが、顕著に残っていなかったのは、粉砕による試料の均一化の効果であると考えられる。

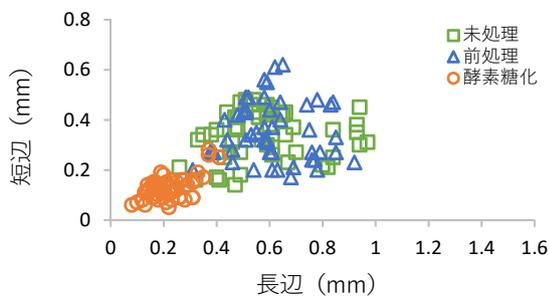


図-3. 未処理, 前処理および酵素糖化における柔細胞の形状変化

Fig. 3 Morphological changes of parenchyma cells of *Phyllostachys nigra* in untreated, pretreated, and enzymatic saccharification

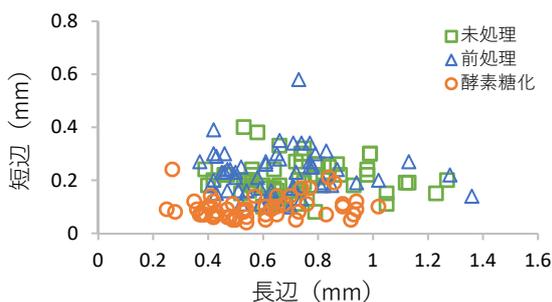


図-4. 未処理, 前処理および酵素糖化における表層組織の形状変化

Fig. 4 Morphological changes of surface tissue of *Phyllostachys nigra* in untreated, pretreated, and enzymatic saccharification

図-4は、表層組織のサイズの変化を示した。柔細胞と同様に未処理とアルカリ前処理では、ほとんど形状に変

化は認められなかった。一方、酵素糖化処理後では、短辺のサイズは小さくなっているのに対して、長辺ではサイズの減少はわずかであった。光学顕微鏡像においても細長い繊維状の組織片が多く観察された。表層組織は、柔細胞よりも細胞のサイズは小さいが細胞壁が厚いため、酵素により分解が進みにくいと考えられる。よって、酵素糖化における律速因子であると示唆されたことから、表層組織の脱リグニン条件や微細化を工夫することによって、さらに糖化効率が向上すると期待される。

#### IV おわりに

最も高い遊離グルコースを得たのは、3.0 M、24 時間の前処理条件の時であった。ハチクにおいては、新竹と古竹を比較して、生育年数によって有意な差がなかったことが特徴であった。新竹の方が酵素糖化に適していると考えていたが、糖質成分は古竹が多かったこと、生育年数を考慮しなくても良いことは、竹林を有効に利用するという観点からも大きな利点になると期待される。

酵素糖化処理においては、表層組織の分解の促進が課題であるが、前処理条件や微細化の工夫により改善できると期待される。

**謝辞:** 竹林の見学や試料の提供にご協力いただきました一条竹の子村の清水様、南伊豆町の山本様に厚く御礼申し上げます。

#### 引用文献

- (1) 今井友也・間島重道・藤田稔・佐伯浩 (1995) マダケ, ハチクおよびモウソウチクの稈の細胞構造 (1). 京大演報 67: 147-157
- (2) 小林幹夫 (2017) 原色植物分類図鑑 日本のタケ亜科植物. 北隆館, 東京, 435pp
- (3) 林野庁 (2018) 竹の利活用促進に向けて 平成 30 年 10 月. 林野庁, 東京: 23pp
- (4) 瀬山智子・鈴木康平 (2022) つる性植物の酵素糖化. 関東森林研究 73: 141-144
- (5) 瀬山智子・矢野薫穂 (2023) 街路のつる性植物における酵素糖化. 関東森林研究 74: 133-136
- (6) 孫鵬程・柴田昌三・貫名涼 (2019) 鹿児島県における竹資材利用の現状—竹加工業者に対するアンケート調査を通じて—. 日林誌 101: 257-265
- (7) 内村悦三 監修 (2009) 現代に生かす竹資源. 創森社, 東京, 217pp
- (8) 内村悦三 (2010) タケ・ササ図鑑. 創森社, 東京, 219pp

## 映像制作における「美しいもり」の構成要素と「もりづくり」への参加

### —東京農業大学学生へのアンケート調査を事例として—

寺田美紅<sup>1</sup>・小森谷孝志<sup>2</sup>・佐藤孝吉<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京農業大学・<sup>2</sup>群馬県林業研究グループ連絡協議会

**要旨：**森林資源の生産と消費は、山村と都市における物流や情報流の垂直連携によって関連付けられている。インターネットの普及は、両地域の交流を促進する有効な手段となると考えられる。その具体的な方法として「美しいもり」の映像制作に注目し、様々な「もりづくり」との関連付けについて検討することにした。そこで、東京農業大学学生に対してアンケート調査を実施した。得られた140名の回答を分析し、「美しいもり」のイメージと「もりづくり」への参加パターンに関係性があることが分かった。

**キーワード：**映像制作, 映像要素, 美しいもり, もりづくりへの参加

### Components of "beautiful forests" in video production and participation in "forest management":

#### A case of students at Tokyo University of Agriculture

Miku TERADA<sup>1</sup>, Takashi KOMORIYA<sup>2</sup>, Takayoshi SATO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tokyo Univ. of Agric.; <sup>2</sup>Gunma Prefectural Forestry Research Group Liaison Council

**Keywords:** Video Production, Video contents, Beautiful Forests, Participation of Forest activities

#### I はじめに

森林資源の生産と消費は、山村と都市における物流や情報流の垂直連携によって関連付けられている。インターネットの普及は、両地域の交流を促進する有効な手段となると考えられる。また、各種 SNS などにおいて、簡易な動画の製作及び視聴による情報発信が盛んである。このことから、製作と発信の双方を手掛ける「美しいもり」の映像制作事例に注目し、様々な「もりづくり」との関連付けについて検討することにした。理想的な森林の具現化のために、ザリッシュの考える「美しいもり」に注目した。そして、映像制作における森林の構成要素、「もりづくり」への参加パターンについて東京農業大学学生に対してアンケート調査を実施した。

#### II 調査方法

東京農業大学の学生に対し Society5.0, 美しいもりづくりの活動(2)について説明を行った上で、過去の研修内で制作された映像作品の上映をし、講義終了後にアンケート調査を行い140名の回答が得られた。

調査内容の視点は、ザリッシュによる「美しいもり」は、最も利用価値の高い森林(1)に注目した。「美しいもり」は、静と動、内面と外面など様々な視点から指摘されている。そこで、「美しいもり」を①調和の中にある

美しさ(調和)、②動作、動きの中の美(優雅)、③崇高さを感じさせる(崇高)、④絵画的な美(絵画)、⑤人を和ませるあいらしさ等(ユーモア)の5つに分類した(3)。映像制作を行う上での「美しいもり」の構成要素は、生物(植物、動物)、自然物(地形・土壌、空気・天候)、人間活動(生産活動、地域社会の営み、地域の文化)から複数選択とした。「もりづくり」への参加は、直接的参加(もりづくり、生産物の利用)、間接的参加(発信、情報提供)、支援的参加(物的援助、精神的援助)から複数選択とした。

#### III 調査結果

「美しいもり」のイメージ(あなたが思う「美しさ」のイメージに合致するものは何ですか)は、「調和」が最も多く104名(回答者数全体の74.3%)、続いて「優雅さ」(46.4%)、「崇高」(37.1%)、「絵画」(26.4%)、「ユーモア」(17.1%)となった。「美しいもり」の構成要素は、植物への回答が最も多く、自然物や人間活動への回答は少なかった。「美しいもり」のイメージごとに分析すると、「絵画」、「ユーモア」は構成要素が多く、「調和」が少ない傾向であった。「崇高」では生物や自然物、「ユーモア」では人間活動の回答数が多かった。「もりづくり」への参加形態は、直接的な「もりづくり」や生産物の利用への

回答が多く、物質的な支援による参加が少なかった。「もりづくり」については、構成要素と同様に「崇高」、「絵画」において参加の形態への回答が多く、「調和」は少なかった。「崇高」は直接的参加や情報提供、物質援助への回答が多く、「ユーモア」では情報の発信や「もりづくり」への応援への回答が多く、直接的参加は少なかった。

#### IV 考察

「美しいもり」のイメージは、「調和」が多く回答されたが、構成要素や参加形態への回答が少なく比較的消極的であった。「崇高」と「ユーモア」は共に構成要素や参加形態への回答が多く積極的であったが、「崇高」が自然物、「ユーモア」が社会活動といった回答傾向の違いがみ

られた。したがって、「美しいもり」のイメージによって、映像制作方法や「もりづくり」への参加のアプローチの差異を考慮することで、今後の有効な協働へと展開すると考察した。

#### 引用文献

- (1) 小池孝良 (2010) 森林美学の源流を訪ねて. 北方森林学会 62 (3): 57-60
- (2) 小森谷孝志 (2023) 私の考える次世代の森林づくりにて一人・環境・豊かさの調和. 山林 No.1666: 19-27
- (3) H.フォン・ザーリッシュ (2018) 森林美学. 海青社, 35pp

表-1. 美しいもりの構成要素

Table 1 Components of "beautiful forest"

美しいもりのイメージ	回答数 (N) (%)	回答数 (N : 上)、回答数に対する割合 (% : 下)								合計	一人あたりの回答数
		生物		自然物		人間活動		その他			
		植物	動物	地形・土壌	空気・天候	生産活動 (地域産業)	地域社会の営み		地域の文化		
調和	104 74.3	98 94.2	76 73.1	65 62.5	62 59.6	17 16.3	18 17.3	27 26.0	9 8.7	372	3.6
優雅	65 46.4	62 95.4	44 67.7	42 64.6	48 73.8	11 16.9	13 20.0	21 32.3	9 13.8	250	3.8
崇高	52 37.1	51 98.1	44 84.6	39 75.0	40 76.9	9 17.3	12 23.1	19 36.5	5 9.6	219	4.2
絵画	37 26.4	35 94.6	30 81.1	28 75.7	28 75.7	9 24.3	9 24.3	13 35.1	8 21.6	160	4.3
ユーモア	24 17.1	23 95.8	18 75.0	17 70.8	18 75.0	3 12.5	9 37.5	11 45.8	3 12.5	102	4.3
全体	140 100	134 95.4	105 75.2	95 67.7	97 69.5	24 17.4	30 21.6	45 32.3	17 12.1	1,103	3.9

表-2. 美しいもりづくりへの参加形態

Table 2 Forms of participation in the creation of "beautiful forests"

美しいもりのイメージ	回答数 (N) (%)	回答数 (N : 上)、回答数に対する割合 (% : 下)						合計	一人あたりの回答数
		直接的参加		間接的参加		支援的参加			
		植林や育林などを 利用	生産物や「もり」 を利用	活動の外部発信、 仲間集め	アンケート回答や コメント	資金や物質的 援助	社会を応援		
調和	104 74.3	71 68.3	44 42.3	17 16.3	19 18.3	11 10.6	33 31.7	299	2.9
優雅	65 46.4	51 78.5	27 41.5	13 20.0	13 20.0	7 10.8	26 40.0	202	3.1
崇高	52 37.1	41 78.8	26 50.0	8 15.4	13 25.0	11 21.2	16 30.8	167	3.2
絵画	37 26.4	29 78.4	17 45.9	7 18.9	9 24.3	5 13.5	15 40.5	119	3.2
ユーモア	24 17.1	18 75.0	7 29.2	6 25.0	5 20.8	4 16.7	11 45.8	75	3.1
全体	140 100	104 74.5	60 42.9	25 18.1	29 20.9	19 13.5	50 35.8	862	3.1

## 大学の分収林経営に関する一考察 —東京農業大学中木山分収林を事例にして—

佐藤孝吉<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京農業大学地域環境科学部

**要旨:**群馬県安中市に位置する東京農業大学中木山分収林は、1961年に国有林と分収林契約し、2022年をもって約60年間の歴史を閉じ国有林へと返還するに至った。本稿では、造林、保育、伐採に至る中木山分収林の歴史的展開を確認し、分収林の大学運営について考察を加えた。1957年から1980年の約20年間は、学生実習として教育的な役割を担い、伐採時には大学の財産としての役割を果たした。

**キーワード:** 東京農業大学, 分収林, 森林経営

### Forest management of profit sharing forest: A case of Nakakiyama, Tokyo University of Agriculture

Takayoshi SATO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tokyo University of Agriculture

**Keywords:** Tokyo University of Agriculture, Profit sharing forest, Forest management

#### I はじめに

東京農業大学中木山分収林(中木山分収林とする)は、1961年3月1日契約され、2022年11月18日に立木が落札されて歴史を閉じることになった。分収林とは、地主、造林者の間であらかじめ約束した割合をもって伐採時の立木収益を分配する森林のことを指す。本報では、中木山分収林の歴史的な展開を確認し、分収林の大学運営について考察を加えた。

#### II 中木山分収林の設置と管理

東京農業大学森林総合科学科(元東京農業大学専門部林業科, 前林学科)は、1947年4月1日千葉県長生郡茂原町で設立した。実習は、いずれも千葉県内の勝浦演習林(18.48 ha)、茂原演習林(9.92 ha)、千葉演習林(330.3 ha)を借用して行われた。1957年に林学科が世田谷キャンパスへ移転したため、新たな実習地を探索し、群馬県安中市の裏妙義の国有林(図-1)を紹介していただき、1957年8月より実習を実施した。1961年3月1日に大学による造林および管理と実習や研究利用の許可、収穫時の分収割合の契約に至った。森林の状況および宿泊施設からの利便性を考慮し、1980年に妙義町(現在の富岡市)に大桁山分収林を設置した。したがって、1957年から1979年の20余年は中木山で実習が行われたことになる。大学は、東京都奥多摩町の森林を購入し(1978年)、主たる実習地は、1990年の研修センター設置とともに奥多摩演習林となった。

中木山分収林は、105林班い(1966年契約11.1 ha)、106林班ち(1961年11.6 ha)、106林班へ(1968年4.5 ha)、106林班ほ(1969年契約4.7 ha)の4小班に分かれていて、合計面積は、31.97 haであった。施設や堰堤のため1部解約され、返還時の面積は30.24 haであった。植栽樹種は、合計152,983本(5,060本/ha)で、63.5%にあたる97,113本がスギ、その他、アカマツ、ヒノキ、ヤマハンノキ(肥料木)などであった(表-1)。

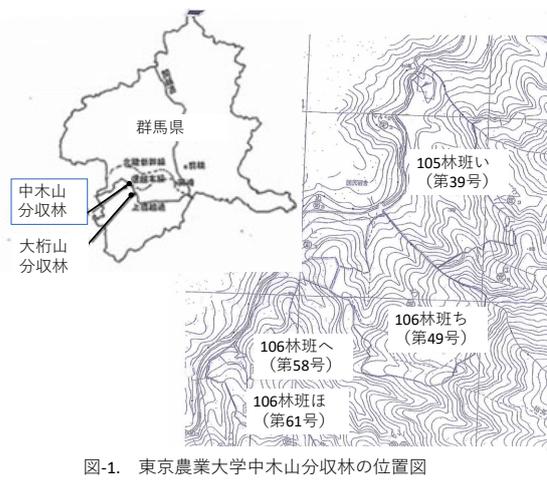


図-1. 東京農業大学中木山分収林の位置図

造林計画書によると、haあたりの作業内容は、地捨え(30名)、植付(20名)、補植(2名)、下刈り(60名:6年間の合計)で、人数合計は92名となった。Haあたりの造林費用は、当時の日給が400円とすると人件費が36,800円、苗木がhaあたり平均5,000本とすると10,000

円（スギが1本あたり2円）、苗木運搬経費1,300円（トラック1台が、3haで4,000円）で合計48,100円と推定された。したがって、中木山全体（31.97ha）の造林には約3,940人、154万円の費用を要したと推定できる。

表-1 中木山分収林の林分別、樹種別植栽本数

台帳番号	所在地				合計	
	39	49	58	61	本数	%
所在地	105林班い	106林班ち	106林班へ	106林班ほ		
面積(m <sup>2</sup> )	111,077	116,198	45,333	47,075	319,683	
設定年(年月日)	1966.2.7	1961.3.31	1968.3.16	1969.5.6		
樹種						
スギ	43,445	33,391	6,587	13,690	97,113	63.5
ヒノキ	1,958	500	6,310	4,550	13,318	8.7
モミ	999				999	0.7
アカマツ	6,969	10,000	3,570	5,180	25,719	16.8
ヤマハンノキ	500	5,520	1,077	1,879	8,976	5.9
カラマツ	500	4,680	1,078		6,258	4.1
ストロブマツ			100	500	600	0.4
本数合計	54,371	54,091	18,722	25,799	152,983	100
haあたり本数	4,895	4,655	4,130	5,480	4,785	

群馬森林管理署の資料をもとに作成、面積は植栽時

### III 中木山分収林の伐採

管理作業の記録では、植栽後の10年間（1961～1970年）は地拵え、補植、施肥、寒伏せ、寒伏せ起こし、その後、40年生（2000年）ぐらいまでは、雑刈り、枝打ち、除間伐などの作業が行われていた。2000年以降は状況確認を主としていた。特に急傾斜地での生育が良くなかったことから伐期を延長してきた。間伐による肥大成長と、実習等で活用されなくなってきたことから2018年～2019年に伐採計画を申請し、地域別の森林計画に組み込まれ、2020年～2022年に立木の入札が行われた。106林班へおよび106林班ほは、搬出の都合から一緒に競売にかけることになり2021年に再度競売を実施した。その結果、2021年、2022年に合計2,773万円で落札され、国有林へと返還に至った。各林分の本数、材積、樹種は表-2に示すとおりである。伐採の合計本数は、41,156本

（1,361本/ha）、合計材積は、13,299m<sup>3</sup>（440m<sup>3</sup>/ha）であった。樹種別にみるとスギが最も多く、本数が23,765本（57.7%）、材積が11,111m<sup>3</sup>（83.5%）で比較的大径木であり、バイオマス利用となる低質材が12,513本（30.4%）714m<sup>3</sup>（5.4%）であった。天然生の樹木も154本存在した。

落札された立木は、106林班へ・ほ・ちが柱材を主とする栃木県の業者によって、群馬県内の製材工場へと運搬され、105林班ちは、群馬県内の素材生産業者から埼玉県の製材工場へと運搬された。

### V 考察とまとめ

中木山分収林は、学生の実習地としての役割と大学の財産としての2面性があった。大学の実習地として約20年間の役割を果たした。分収林を活用する場合は、購入時に費用負担が少ないが、設置のためにはアクセス、宿泊施設など地利的な条件が良い場所が必要なことや、地域の協力体制が必要不可欠と考えられた。森林の実験や試料としての活用や林産物の利用には制約があり、所有の演習林が適していると判断した。収益は大学の財産としての役割を果たしたが、一般的な立木評価、60年間の利息、物価上昇を考慮すると正確な評価は困難で本報では金額のみ提示して今後の課題とする。

### 引用文献

- (1) 東京農業大学林学専攻 (2011) 多様で健全な森林整備とその生産物利活用-東京農業大学分収林の設置経緯と現状-, 58pp
- (2) 東京農業大学森林総合科学科 (2017) 70周年記念誌, 111pp

表-2 中木山分収林の収穫時の樹種別本数、材積

台帳番号	所在地				合計		合計		合計		合計	
	39	49	58	61	本数	材積	本数	材積	本数	材積	本数	材積
所在地	105林班い	106林班ち	106林班へ	106林班ほ								
面積(m <sup>2</sup> )	94,895	115,965	44,654	46,848	302,362							
樹種	本数	材積	本数	材積	本数	材積	本数	材積	本数	材積	本数	材積
スギ	9,144	5,000.53	8,770	3,585.37	2,947	1,328.00	2,904	1,197.20	23,765	11,111	57.7	83.5
ヒノキ	135	35.48	862	159.09	1,228	344.45	547	97.11	2,772	636	6.7	4.8
カラマツ	1	0.06	99	48.50	16	7.97	20	9.18	136	66	0.3	0.5
アカマツ	288	146.55	935	332.62	279	134.68	314	123.29	1,816	737	4.4	5.5
低質材L	3,358	162.58	5,247	326.04	2,091	113.21	1,817	112.59	12,513	714	30.4	5.4
広葉樹	31	3.15	92	17.51	16	6.51	15	7.23	154	34.40	100	100
合計	12,988	5,348.35	16,005	4,469.13	6,577	1,934.82	5,617	1,546.60	41,156	13,298.90	100	100
haあたり	1,369	563.61	1,380	385.39	1,473	433.29	1,199	330.13	1,361	439.83		

群馬森林管理署の資料をもとに作成、面積は伐採時の面積

## 茨城県におけるスギ特定苗木の生育特性の解明及び

## 低密度植栽による造林コスト縮減の検証

前川直人<sup>1</sup>・鈴木孝典<sup>1</sup><sup>1</sup>茨城県林業技術センター

**要旨**：再造林の低コスト化に向けて、成長特性に優れた苗木の活用や低密度植栽が検討されている。そこで、本県産の特定苗木の生育特性を明らかにするとともに、低密度植栽における育林作業の省力化によるコスト縮減の効果について検証した。植栽2年後の時点で、特定苗木は対照として植栽した少花粉苗木より良好な樹高成長を示した。また、低密度植栽（1,000本/ha）に要する時間は、3,000本/haの約半分に縮減できることが明らかになった。なお、下刈に要する時間については植栽密度との間に相関関係が見られなかった。

**キーワード**：造林，特定母樹，特定苗木，低密度植栽

**Growth of *Cryptomeria japonica* specified saplings and  
reduction of forestation cost by low density planting in Ibaraki Prefecture**

Naoto MAEKAWA<sup>1</sup>, Takanori SUZUKI<sup>1</sup><sup>1</sup>Ibaraki Prefectural Forestry Research Institute

## I はじめに

茨城県の民有林における人工林の約8割が10齢級以上の主伐期に達しており、本格的に利用期を迎えている(1)。森林資源の利用と林業経営を持続させるためには、伐採、再造林を推進していく必要があるが、造林経費の大半を要する植栽や下刈のコスト縮減を図ることが課題となっている(2)。国内では、成長特性等に優れた特定母樹から生産された苗木（以下「特定苗木」）の利用や、低密度植栽による再造林を推進する等、植栽、下刈の省力化と低コスト化に向けた取り組みを進められている(2)。本県でも、全国に先駆けてスギ特定母樹採種園を整備するとともに、特定苗木を2021年に初出荷したが、特定苗木の生育特性に関する知見は少ない。そこで、本研究では、特定苗木について植栽後の生育特性を明らかにするとともに、低密度植栽における造林経費縮減の効果について検証した。

## II 調査の概要

**1. 調査地** 調査地は筑波山東部（石岡市）の標高約250mの地点に設置した。最寄りの気象観測所（アメダス土浦観測所）における年平均気温は14.8℃、年降水量は1,229.3mmであった。表-1は調査地における植栽区ごとの植栽密度と品種を示す。調査地の斜面上部・下部それ

ぞれに植栽密度1,000～3,000本/haの特定苗木の植栽区を設けた。植栽時の苗高は平均45cm、地際直径は平均5.4mmであった。植栽は2021年3月に行い、各植栽区において調査対象木を36本選定した。3,000本/ha、2,000本/haの植栽区においては、対照として県内で広く普及している少花粉苗木を植栽した。植栽時の苗高は平均53cm、地際直径は平均5.5mmであった。

表-1. 調査地における植栽区ごとの植栽密度と品種

植栽区	植栽密度(本/ha)	品種	植栽間隔
A	3,000	少花粉苗木	1.8 m
B	3,000	特定苗木	1.8 m
C	2,000	少花粉苗木	2.2 m
D	2,000	特定苗木	2.2 m
E	1,500	特定苗木	2.6 m
F	1,000	特定苗木	3.2 m

**2. 調査項目** 植栽木の生育状況を調査するため成長停止期の12月に樹高を計測し、その結果から年間成長量を算出した。なお、植栽区Eと植栽区Fは、表土が著しく薄く、岩盤が露呈する等環境が大きく異なるため本試験においては解析から除外した。

また、植栽密度毎の植栽作業効率を調査するため、それぞれ40本の植栽作業時間を計測し、ha当たりの作業

時間を算出した。さらに、下刈作業効率を調査するため、植栽密度ごとに 0.01 ha の調査プロット内の下刈作業時間を計測し、ha 当たりの作業時間を算出した。作業状況はビデオ撮影を行い、動画を解析した。

### III 結果と考察

1. 特定苗木の生育特性 調査 1 年目の樹高成長量は、同一植栽密度間において少花粉苗木との明確な差が認められなかったが (図-1)、調査 2 年目では、特定苗木は樹高成長量が良好であった (図-2)。また、異なる植栽密度間における両者の生育差を調査するため、同一斜面に隣接しており、斜度や土質等の環境が類似する調査区(斜面上部の B, C, D)において、樹高成長量を比較した。その結果、同一斜面に植栽された特定苗木の植栽後 2 年目の樹高成長量は、植栽密度間で違いがなかった

(図-3)。植栽後 2 年目の時点では同一環境下において樹高成長量は植栽密度による影響を受けないと考えられ

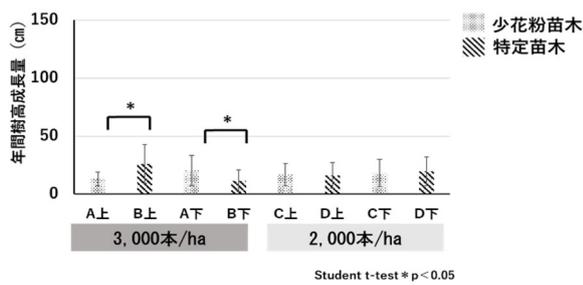


図-1. 同一植栽密度間における 1 年目の樹高成長量

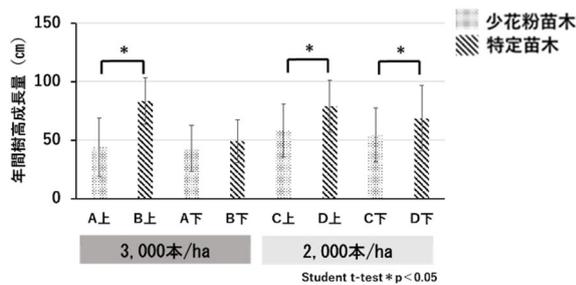


図-2. 同一植栽密度間における 2 年目の樹高成長量

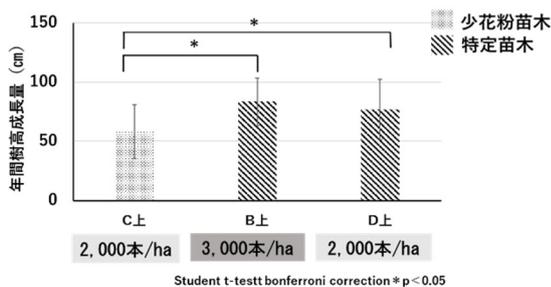


図-3. 異なる植栽密度間における 2 年目の樹高成長量

2. 植栽作業効率 植栽に要する時間は、1,000 本/ha の植栽区では 3,000 本/ha の約半分に縮減できた (表-2)。また、動画解析等を行った結果、1,000 本/ha の植栽区は 3,000 本/ha と比較して作業者が植栽間隔の把握に時間を要している様子が確認され、この点を改善することにより、作業時間はさらに 1 割縮減すると試算された。

表-2. 植栽密度ごとの植栽に要する時間

植栽密度 (本/ha)	植栽本数	プロット面積 (ha)	植栽時間 (分)	植栽時間 (分/本)	植栽時間 (時間/ha)
3,000		0.013	29'02"	0'44"	36:18
2,000	40	0.020	44'12"	1'06"	36:50
1,500		0.027	47'03"	1'11"	29:24
1,000		0.040	46'45"	1'10"	19:28

3. 下刈作業効率 下刈については、植栽密度と作業に要する時間に関係は見られなかった (表-3)。動画解析等の結果、最も下刈時間が短かった場所では地面が平坦で、かつテイカカズラに被覆されており、下草丈が低かったのに対し、下刈り時間が最も長かった場所は地面に岩が多く、下草も背の高い灌木類が多い状況であった。このことから、作業に要する時間は草丈や地形に影響を受けており、植栽密度の影響は小さいと考えられた。

表-3. 植栽密度ごとの下刈に要する時間

植栽密度 (本/ha)	品種	下刈面積 (ha)	下刈時間 (分)
3,000	少花粉苗木	0.01	8'27"
3,000	特定苗木	0.01	10'17"
2,000	少花粉苗木	0.01	11'44"
2,000	特定苗木	0.01	14'21"
1,500	特定苗木	0.01	11'48"
1,000	特定苗木	0.01	10'46"

### 引用文献

- (1) 茨城県 (2023) 茨城県森林・林業の動き. [https://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/rinsei/kikaku\\_index/s\\_hinrin-ringyou/index.html](https://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/rinsei/kikaku_index/s_hinrin-ringyou/index.html) (2023 年 11 月 10 日参照)
- (2) 林野庁 (2023) 令和 4 年度森林・林業白書. <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/r4hakusyo/attach/pdf/zenbun-41.pdf> (2023 年 11 月 10 日参照)

## 異なる時期のチャバネアオカメムシの加害がスギ種子の発芽率低下に与える影響

室 紀行<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 埼玉県寄居林業事務所森林研究室

**要旨：**スギ種子の発芽率は種子食性カメムシの吸汁害により低下するが、加害時期の違いによる発芽率低下の大きさの変化はよく調べられていない。そこでチャバネアオカメムシを異なる時期にスギ枝に放飼して加害時期の異なる 4 試験区（7月加害、8月加害、9月加害、対照区）を設定し、種子発芽率を比較した。その結果、発芽率は加害時期が早いほど低かった。スギ採種園においてカメムシ防除を行う場合、初夏に重点的に防除を行うと効率的であると考えられる。

**キーワード：**ミニチュア採種園、球果、害虫、防除、季節変化

### The effect of feeding damage by *Plautia stali* in different season on germination rate of *Cryptomeria japonica*

Noriyuki MURO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saitama Prefecture Yorii Forestry Office Forest laboratory

#### I はじめに

スギ種子の発芽率は通常 20–30%程度とされ(5)、虫害や高温障害など様々な原因で低下する(2)。主要な虫害の 1 つにカメムシ吸汁害がある。種子食性カメムシが摂食のためにスギの球果を吸汁すると、内部の種子が死亡して発芽率が低下することが知られている(1)。

虫害の防除において加害時期と被害の大きさの関係を把握することは重要であり、各種の虫害で調査されている。北米のコントロールマツとマツヘリカメムシでは、種子形成期間のうち早い時期に加害を受けると発芽率が大きく低下することが実験的に明らかにされている(3)。またヒノキと種子食性カメムシ類全般では、8月上旬に野外個体群の加害を受けた場合に、その前後の時期よりも種子発芽率が大きく低下すると推定されている(4)。

一方、スギと種子食性カメムシでは加害時期が発芽率に与える影響が検証された事例がなく、これらの関係についての知見がほとんどない。そこで、採種園でのカメムシ防除のために基礎的な知見の充実を図るべく、関東地方で優占する種子食性カメムシの一種であるチャバネアオカメムシ（以下、カメムシ）を対象として、加害時期とスギ種子発芽率との関係を実験的に調査した。

#### II 材料と方法

**1. 調査地** 本研究は、埼玉県寄居林業事務所上の原採種園（埼玉県大里郡寄居町鉢形地内、標高約 120 m）のスギミニチュア採種園で実施した。

**2. 試験区配置** 採種木 3 個体を利用し、球果が 18 個

以上着生した供試枝を計 44 本選定した。供試木は 6 年生接ぎ木個体であり、系統はすべて西多摩 2 号とした。夏季の高温を避けるため、各供試木に遮光率 70%の寒冷紗による日覆いを設置した。2022 年 4 月 26 日に各供試枝にポリエチレン製の袋を設置した。袋は目合い 0.4 mm のネット資材を幅 40 cm×長 50 cm の袋状に縫製したものである。調査地で野生のカメムシ成虫を採集し、異なる 3 時期（7 月、8 月および 9 月）に各 11 本の枝の袋内部に放飼した。残る 11 本の枝はカメムシを放飼せず対照区とした。放飼個体の密度は球果あたり 0.2 頭とし、性は可能な限り 1:1 とした。放飼から 2 週間後に成虫を袋から除去した。このとき導入個体により袋内に産下された卵塊の個数を記録し、孵化していた若齢幼虫をすべて除去した。同年 10 月 19 日に供試枝から球果を収穫した。球果は乾燥脱粒し、精選した種子を -13°C で保存した。種子発芽率の測定は 2023 年 1 月 26 日から同年 3 月 2 日にかけて実施した。種子の供試数は 100 粒 3 反復とし、シャーレ内に濾紙を敷きベンレート水和剤を添加した蒸留水で湿らせたのち、無作為に選出した種子を濾紙上に播種した。シャーレは 25°C 全暗条件に置き、28 日後に発根済み種子の数を目視で計測した。また発芽鑑定への供試前に種子の重量を計測した。

**3. 統計解析** 応答変数を種子発芽率、説明変数を加害時期、供試枝の球果数、種子重量およびカメムシ産下卵塊数の計 4 項目とし、統計モデルとして誤差構造を二項分布としたロジスティック回帰を仮定して、一般化線形モデルによるモデル推定を行った。次いで AIC によるモ

デル選択を行った。解析には R ver. 4.1.2 の標準パッケージおよび追加パッケージ MASS を利用した。

### III 結果と考察

一般化線形モデルによるモデル推定の結果、種子重量と各時期の加害処理に有意な効果が認められた ( $p < 0.001$ , 表-1, 図-1)。AIC によるモデル選択の結果、説明変数として種子重量と加害時期が選択された。この結果から、早い時期の加害によりスギ種子の発芽率がより大きく低下したことが明らかとなった。このことから、スギ採種園においてカメムシの防除を行う際には、秋よりも初夏に重点的な防除を行うと効率的である可能性が高い。また種子重量を大きくするような採種木の管理により発芽率を高められることが示唆されたが、一方で本研究では種子重量がカメムシの加害の影響で減少している可能性が考えられる。より厳密な考察のためには、因果関係を整理したモデル設計が必要であろう。

本研究ではカメムシを除去する時点で、放飼個体が産下した卵塊から孵化した多数の若齢幼虫が活動しており、これらによるスギの吸汁が発生していたと考えられる。しかしモデル選択では卵塊数を含まないモデルが選択された。このことから、若齢幼虫の吸汁が種子発芽率に与える影響は軽微であったと考えられる。他方、より発育した幼虫が与える影響は不明である。本研究では成虫のみを供試したが、実際の圃場環境はこれと異なり、越冬成虫、各発育段階の幼虫および新成虫が混在している。加えて、多くの地域にはスギを加害する別種の種子食性カメムシも分布している。カメムシ吸汁害の季節変化を正確に理解するためには、これらが種子発芽率に与える影響を包括的に調査する必要があるだろう。

また、本研究では供試木として単一の系統を供試したが、系統間でカメムシ吸汁害への反応が異なる可能性がある。採種園におけるカメムシ吸汁害の季節変化を正確に理解するためには、複数の系統においてカメムシ吸汁害の影響を調査する必要があると考えられる。

**謝辞：**本研究の実施にあたり、埼玉県寄居林業事務所森林研究室の職員諸氏には有益な助言を賜った。特に森田厚氏、島田孝行氏、井上昇午氏、新井秀郎氏、赤岩利行氏には現地作業の、また高田和美氏には発芽率測定作業の多大なる補助を賜った。ここに深く御礼申し上げる。

### 引用文献

(1) 小林一三・横山敏孝 (1984) カメムシ類の加害による

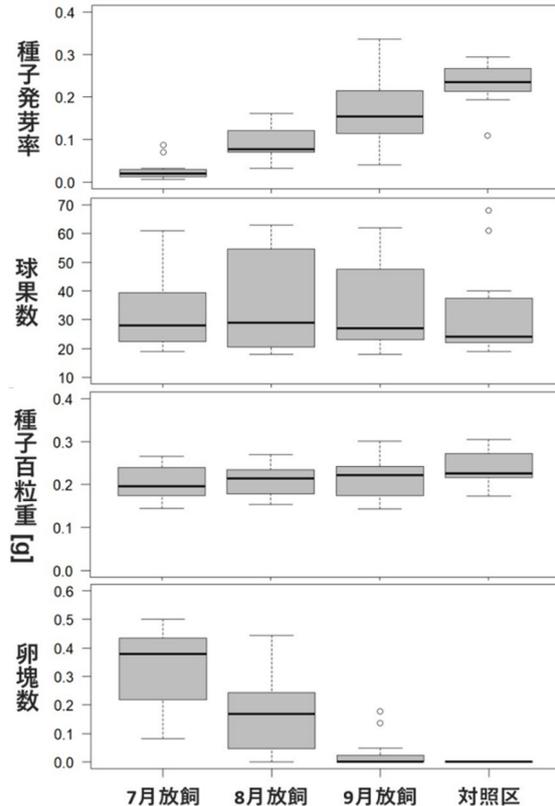


図-1. 各処理区における各説明変数の分布 球果数は枝あたり、卵塊数は球果あたりの数値を表す。

表-1. 一般化線形モデルによるモデル推定の結果

説明変数	係数	標準誤差	t 値	p 値
切片	-2.34	0.16	-14.34	<2e-16 ***
種子重量	4.73	0.77	6.13	8.7e-10 ***
球果数	<0.01	<0.01	-0.32	0.75
卵塊数	0.24	0.34	0.69	0.49
7月加害	-2.21	0.16	-13.76	<2e-16 ***
8月加害	-0.96	0.09	-10.16	<2e-16 ***
9月加害	-0.32	0.07	-4.77	1.9e-6 ***

\*\*\*: 有意水準0.1%で有意差あり

- スギ種子の発芽率低下. 林木の育種 133: 16-19
- (2) 室紀行 (2022) 高温とカメムシ吸汁害がスギ種子発芽率に与える影響. 関東森林研究 73: 65-68
- (3) Strong BW (2006) Seasonal changes in seed reduction in lodgepole pine cones caused by feeding of *Leptoglossus occidentalis* (Hemiptera: Coreidae). The Canadian Entomologist 138: 888-896
- (4) 丹原哲夫・井上悦甫 (1996) ヒノキ採種園でのカメムシの発生生態と防除. 岡山県林業試験場研究報告 13: 25-44
- (5) 外山三郎 (1944) 主要林木種子の平均発芽率 林木の育種及其基礎研究 (第4報). 日林誌 26: 284-287

## ミニチュア採種園における着花特性に基づく少花粉スギ系統の分類

相馬航輔<sup>1</sup>・阿部森也<sup>1</sup>

<sup>1</sup>茨城県林業技術センター

**要旨：**ミニチュア採種園において種子生産性の高い配置設計に必要な情報を収集するため、花粉の少ないスギ 19 系統について、着花促進処理後の雄花・雌花着花性及び球果着生量を調査し、傾向の類似する系統の分類を行った。調査の結果、雄花・雌花着花性、及び球果着生量のすべてで系統間に有意差が確認された。また、19 系統は雄花着花性に優れる系統、雌花着花性に優れる系統、両形質とも良好な系統、あるいは不良な系統など 5 つの類型に分類でき、これらを効率的に配置することで種子生産性を向上させられる可能性が示唆された。

**キーワード：**種子生産、花粉の少ないスギ、ミニチュア採種園、着花性、球果着生量

### Classification of less pollen varieties of *Cryptomeria japonica* based on flowering characteristics in a miniature seed orchard

Kosuke SOMA<sup>1</sup>, Shinya ABE<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ibaraki Prefectural Forestry Research Institute

#### I はじめに

現在、人工林の多くが主伐可能な齢級に達しており、再生林に必要な苗木の安定供給が一層重要となっている。一方で、拡大造林期とは異なり、現在では林業用苗木に求められるニーズも多様化している。なかでも、人工林の過半数を占めるスギを発生源とする花粉症の罹患者は国民の約 4 割に達し<sup>(1)</sup>、深刻な社会問題となっている。そのため、林業用種子の生産を担う採種園では、花粉の少ないスギ種子の安定生産が必要になるが、スギの結実性には隔年性があり、年によって生産量にばらつきが生じる。特に再生林の推進に伴って苗木需要が増加している近年では、生産量が需要量を下回る年も出ており、より安定した種子生産体制の確立が求められる。

茨城県では、2003 年から花粉の少ないスギのミニチュア採種園の造成を開始した。ミニチュア採種園では着花促進処理と整枝剪定を繰り返すことで母樹の樹勢が衰えるため、3~4 回の採種後に全伐更新を行う。更新時は、それまでの各系統の雄花・雌花の着花性と球果の着生量に基づき採種園を改良することで種子の生産性の向上が期待できると考えられる。花粉の少ないスギ系統の自然状態の雄花着花性や植栽後の成長性は選抜時に明らかになっているが、種子生産においては、着花促進処理後の着花性や球果の着生量等が重要な形質である。そこで本研究では、ミニチュア採種園の種子生産性の向上に必要な情報を収集するため、ミニチュア採種園に導入されている花粉の少ないスギ系統の着花促進処理後の雄花・雌花の着花性と球果着生量の傾向を調査した。本速報では、

その 1 年目の結果について報告する。

#### II 材料と方法

**1. 供試木** 調査は茨城県林業技術センター内のミニチュア採種園 5 区画に植栽された花粉の少ないスギ 19 系統を対象とした。1 系統あたりの標本数は 5~10 本で、供試木の合計は 880 本とした。

**2. 調査方法** 2022 年 6 月および 7 月に着花促進処理として 100 ppm のジベレリン水溶液を葉面に散布した。2023 年 2 月に雄花・雌花の着花量をスギ雄花着花性に関する特性調査要領<sup>(3)</sup>を参考とし目視により 4 段階で評価した (0 : 着花無し, 1 : 枝の 4 分の 1 程度着花, 2 : 枝の 2 分の 1 程度着花, 3 : 枝の 4 分の 3 程度着花)。球果着生量は、2023 年 6 月に目視によって 4 段階で評価した (0 : 着生無し, 1 : 10 個程度着生, 2 : 1 カ所に集中的または全体的にまばらに着生, 3 : 全体的に密に着生)。

**3. 解析方法** 雄花・雌花の着花性や球果着生量の系統差を評価するため、 $\text{個体値} = \text{総平均} + \text{系統の効果} + \text{区画の効果} + \text{誤差}$ とする線形モデルを仮定し、各要因の効果を分散分析によって評価した。分散分析により系統間に有意差があった場合は、各系統の平均値を算出した。この際、系統と区画の標本数に不釣り合いがあったため、各系統の最小二乗推定値を求め、これを系統平均値とした。最後に、採種園内での役割が類似する系統群を分類するため、雄花・雌花の着花性と球果着生量の系統平均値を用いて階層クラスター分析を実施した。以上の解析はソフトウェア R (ver.4.3.0) を用いて行った。

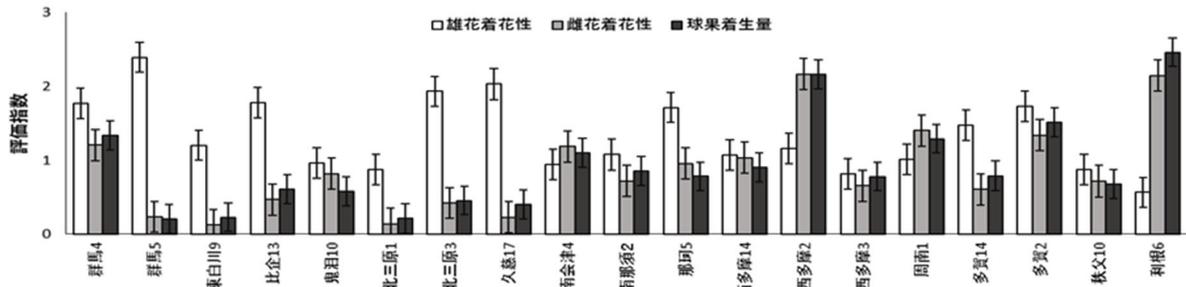


図-1. 雄花着花性・雌花着花性・球果着生量の系統平均値 (エラーバーは標準誤差)

### III 結果及び考察

分散分析の結果を表-1に示した。系統間差はすべての形質で有意であり、種子生産量に影響する着花性は系統ごとに異なることが明らかとなった。各系統の雄花・雌花の着花性および球果着生量の平均は図-1のとおりとなった。雄花着花性は群馬5や久慈17、北三原3が高い値を示し、最も低い値を示したのは利根6だった。雌花着生性と球果着生量は、利根6、西多摩2で値が高く、北三原1や東白川9等は値が低かった。中村(2)が群馬県のミニチュア採種園で行った調査では、雄花・雌花ともに那珂5が最高値であったことを報告している。本調査では、那珂5は雄花の着花指数は比較的高いものの、順位としては7位であり、雌花については8位、球果着生量では10位であった。そのため、各系統の持つ着花性は、植栽された地域や年による影響を強く受けることが示唆された。また、雌花着花性と球果着生量の系統平均は強く相関している傾向があり(相関係数0.98)、着花促進処理によって形成された雌花のほとんどが受粉に至っていることがわかった。そのため、球果着生量と種子生産量の関係を把握することで、着花促進処理後の雌花着生状況から翌年の種子生産量を把握できる可能性が示唆された。一方で、雄花着花性と雌花着花性には弱い負の相関があり(相関係数-0.39)、種子生産木となる系統と花粉散布を担う系統はそれぞれ異なると考えられた。

階層クラスター分析の結果、19系統は5つのクラスターに分けることができた(表-2)。クラスター2は雄花の着花性が特に高い一方で、雌花の着花性は低いグループだった。その逆に、クラスター3は雌花着花性が高い一方で、雄花の着花性は低いグループだった。クラスター4は雄花・雌花ともに比較的平均に近い系統が集まっていた。クラスター5は雄花・雌花とも低いグループとなった。これらの5つのクラスターがミニチュア採種園内でどのように配置されているのかを確認したところ、花粉散布に優れるクラスター2の系統が集中している個所や、種子生産に優れているクラスター3の周囲に花粉飛散に優れる系統が配置されていない箇所が見受けられた。従っ

て、系統のみでなく、クラスターの特性に考慮した配置設計にすることで、ミニチュア採種園の種子生産性を更に向上できる可能性が示唆された。

しかしながら、着花性は年によってばらつきが生じるため、今後も調査を継続し各系統の特性をより高い精度で把握していく必要がある。

表-1. 雄花・雌花着花性と球果着生量の分散分析の結果

	平方和	自由度	平均平方	F値	p値
<b>雄花着花性</b>					
系統	211.7	18	11.8	23.019	<0.001
区画	24.3	4	6.1	11.899	<0.001
残渣	437.8	857	0.5		
<b>雌花着花性</b>					
系統	301.8	18	16.8	31.354	<0.001
区画	40.8	4	10.2	19.080	<0.001
残渣	458.3	857	0.5		
<b>球果着生量</b>					
系統	322.9	18	17.9	38.749	<0.001
区画	12.7	4	3.2	6.191	<0.001
残渣	396.8	857	0.5		

表-2. 階層クラスター分析の結果

	雄花着花性	雌花着花性	球果着生量	系統
クラスター1	1.73-1.77	1.21-1.34	1.34-1.51	多賀2, 群馬4
クラスター2	1.78-2.39	0.23-0.47	0.20-0.61	比企13, 北三原3, 久慈17, 群馬5
クラスター3	0.56-1.16	2.15-2.16	2.16-2.46	利根6, 西多摩2
クラスター4	0.81-1.71	0.60-1.40	0.58-1.29	周南1, 南会津4, 西多摩14, 南那須2, 多賀14, 那珂5, 西多摩3, 秩父10, 鬼沼10
クラスター5	0.87-1.20	0.13-0.14	0.21-0.23	東白川9, 北三原1

### 引用文献

- (1) 環境省 (2022) 花粉症環境保健マニュアル 2022. 環境省, 東京, 5pp
- (2) 中村博一 (2011) 少花粉スギミニチュア採種園におけるクローン別の着花性及び種子生産量. 関東森林研究, 62: 143-147
- (3) 林野庁 (2023) スギ花粉発生源対策推進方針. 林野庁, 東京, 9-12pp

## 斜面安定解析における樹木根系効果導入の検討

岡田康彦<sup>1</sup>・蔡 飛<sup>2</sup><sup>1</sup>国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所・<sup>2</sup>群馬大学理工学部

**要旨**：森林斜面の表層が崩壊する場合、根系はすべり面全体で抵抗力を発揮している。他方、斜面安定解析においては、通常、無限長斜面を対象にすべり土塊の底面でのみ根系効果の検討がなされ、側面の効果は無視されることが多い。すべり土塊の上流及び下流側の側面における根系効果を検討するため、縦断方向に3つのブロックを並べたモデルを作製し簡易ヤンプ法により安全率を求めた。その結果、簡易ヤンプ法からは、無限長斜面を対象にした解析よりも大きな安全率が算出され、特に根系抵抗成分が大きい場合にその差が顕著になる結果が得られた。

**キーワード**：樹木根系、斜面安全率、表層崩壊

## Incorporating tree-root effects into the slope stability analysis

Yasuhiko OKADA<sup>1</sup>, Fei CAI<sup>2</sup><sup>1</sup> Forestry and Forest Products Research Institute; <sup>2</sup> Gunma University

## I はじめに

集中豪雨や長雨により山腹の斜面が崩壊して、下流域に被害を及ぼす斜面災害が毎年のように多発し、その防止、軽減に向けた対策を有効に実施することがますます重要になってきている。樹木の根系は表層崩壊の発生を抑制し国土の保全に寄与しているとして国民からの期待度も大きい。根系が斜面を補強する効果を正確に見積もることは容易ではない。斜面がどの程度の安全性を保っているのかを数値化するために斜面安定解析が行われるが、表層崩壊を対象にした場合は、通常、無限長を想定した斜面の安全率の評価、つまりすべり土塊の底面の検討に留まる。一方で、樹木根系が斜面を補強する効果は、すべり土塊の底面のみならず、側面でも発揮されていると考えるのが妥当であり、その数値化は課題の一つとして残っていた。

すべり面における根系の効果は、土が発揮する粘着力成分  $c_s$  に類似する成分  $c_r$  としてせん断抵抗に加えることにより評価される。根系による粘着力成分  $c_r$  の導入に関して、無限長斜面を対象にした解析の他にすべり土塊の横断方向の側面については検討がなされた例がある (1) が、縦断方向の側面での効果についての検討はなされておらず、その効果の検証が望まれていた。本研究では、土塊の縦断方向の側面における根系効果を検討するためにすべり土塊を縦断方向に3つのブロックにわけ (図-1)、上流側ブロックおよび下流側ブロックの縦断側面に  $c_r$  を導入して安全率を算出すると共に、無限長斜面を対象にした安全率と比較した結果を報告する。

## II 解析方法

すべり土塊の縦断方向の側面における根系の効果を検討するため、斜面安定の解析対象ブロックモデルは、中央の斜四角柱の上流および下流側に三角柱を加えた形状とした (図-1)。すべり面の深さ  $D$  (0.7 m)、及びすべり面の傾斜  $\theta$  (34.5 度) を一定とし、下流側三角柱の側面の傾斜  $\alpha_d$ 、及び上流側三角柱の側面の傾斜  $\alpha_u$  を斜面安全率が最小になるように求めた。なお、傾斜はいずれも反時計回りを正とし、 $\alpha_d$  については負の値も取り得る。可変の  $\alpha_d$  および  $\alpha_u$  は両者が互いに影響を及ぼすため、 $\alpha_u$  をある値と仮定して斜面安全率が最小になる  $\alpha_d$  値を求めた後、その  $\alpha_d$  の下で斜面安全率が最小になる  $\alpha_u$  値を求めるという作業を繰り返すことにより、最終的な斜面安全率が最小になる  $\alpha_d$  値と  $\alpha_u$  値の組み合わせを決定した。土の内部摩擦角は 34.5 度、土の粘着力成分  $c_s$  はゼロ、根系による粘着力成分  $c_r$  は入力変数として 1 kPa から 5 kPa の整数値を与えることとし、斜四角柱の底面および上流側および下流側の三角柱の側面で一定値とした。斜面の安定解析手法については、円弧状のすべり面であるという制限を受けず、任意のすべり面形状に適用が可能となる簡易ヤンプ法 (2) を採用した。すべり土塊全体の地表面における水平長さについては 2 m から開始し、2 m ずつ増やして 40 m までの 20 ケースで検討を行った。

## III 結果と考察

最終的に斜面安全率が最小値を示した際の上流側ブロックおよび下流側ブロックの地表面水平長さを調べた

(図-2)。その結果、 $c_r$ が大きいほどブロックの長さが小さくなるのがわかった。なお、ブロック水平長さが小さい結果は、 $\alpha_d$ がより小さな値をとる（ときに負の値も認められた）こと、 $\alpha_u$ がより大きな値をとることを意味する。一方、中央ブロックの水平長さは、上流および下流側ブロックとは逆で、 $c_r$ が大きいほどブロック長さも大きくなった。これは、中央ブロックの深さが  $D=0.7\text{ m}$  であるのに対し、下流ブロックおよび上流ブロックは、形状が三角柱のためブロック深さが中央ブロックの  $0.7\text{ m}$  よりも短く、摩擦による抵抗成分に対して相対的に粘着力成分の効果が大きく作用することに依存しているためと考えられる。つまり、 $c_r$ が大きいほど、相対的に根系による粘着力成分の影響が大きな上流および下流ブロックでは水平長さが短い形状、粘着力成分の影響が小さな中央ブロックでは長い形状のときに、3つのブロック全体で安全率が小さくなる結果が示された。

3つのブロック全体の簡易ヤンプ法による安全率と、無限長斜面を対象にして算出した安全率の差を調べた(図-3)。簡易ヤンプ法による安全率は、 $c_r$ がいずれの値の場合でも、すべり土塊全体の水平長さが大きくなるに従って低減し、最終的には概ね一定値に収束する結果が得られた。無限長斜面を対象にした安全率と比較すると、すべり土塊の水平長さが  $40\text{ m}$  の時でもわずかな差は認められ、また、 $c_r$ が大きな場合にその差が大きくなるのがわかった。このことから、適切な森林管理を通じて健全な樹木を育成し、樹木根系による粘着力成分  $c_r$ が相当程度発揮される状態である場合ほど、無限長斜面を対象にした安全率の検討のみでは過小評価していることが示唆された。また、表層崩壊の長さについて、たとえば  $10\text{ m}$  程度の小規模な斜面を対象にその危険率を検討する場合は、相当程度に大きな  $40\text{ m}$  の斜面が対象になる場合に比べて、無限長斜面の安全率はより過小に評価していることになるためこのことに留意する必要があると考えられる。

### 引用文献

- (1) Okada Y, Cai F, Kurokawa U (2023) Changes in slope stability over the growth and decay of Japanese cedar tree roots. Forests 14: 256
- (2) 社団法人地盤工学会 (2006) 斜面の安定・変形解析入門—基礎から実例まで—. 社団法人地盤工学会, 東京, 338pp

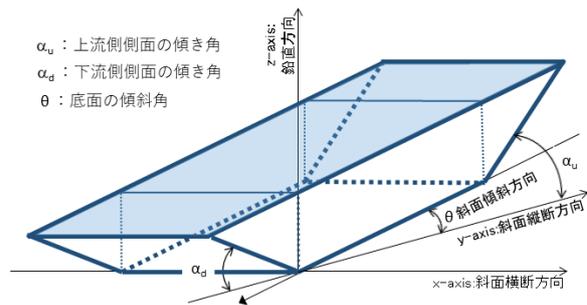


図-1. 簡易ヤンプ法による安全率算出のための3ブロックモデル ( $\theta$ および $\alpha_u$ は正,  $\alpha_d$ は負の場合)

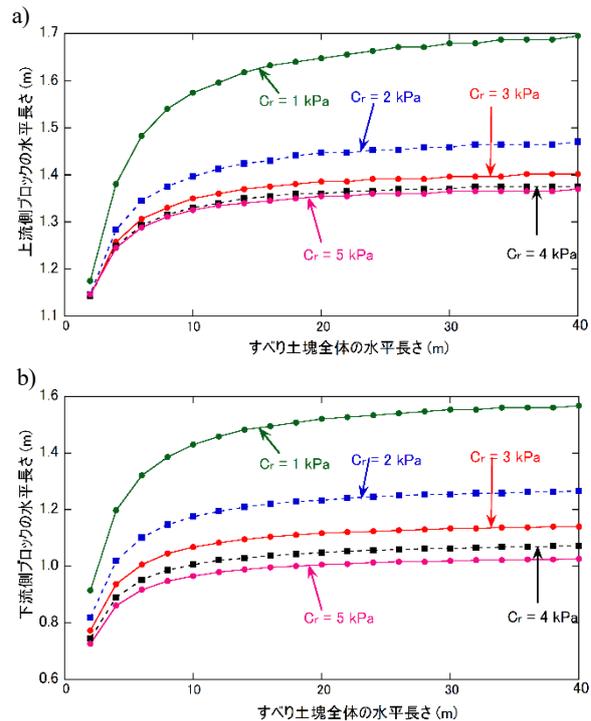


図-2. すべり土塊全体の水平長さと単ブロックの水平長さの関係。a) 上流側ブロック, b) 下流側ブロック

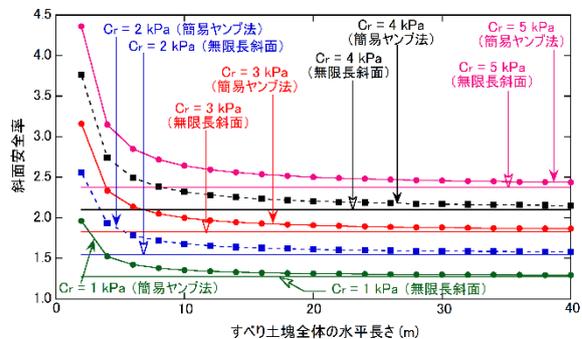


図-3. 簡易ヤンプ法による安全率と無限長斜面を対象に算出した安全率の関係

## 微細藻類を用いた法面保護工の晩秋施工

矢部和弘<sup>1</sup>・富坂峰人<sup>2</sup>・尾関哲史<sup>2</sup>・城野裕介<sup>2</sup>・梁 有希<sup>2</sup>・足立幸大<sup>3</sup>・江口文陽<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京農業大学・<sup>2</sup>日本工営株式会社・<sup>3</sup>株式会社日健総本社

**要旨**：本研究では、BSC 工法の晩秋施工について検討した。試験地は、東京農業大学厚木キャンパス内の北向きの法面として、2022 年 11 月 10 日に植生ネットによる被覆の有無、草本種子の有無による 4 パターンの施工を行った。その結果、14 日後には BSC の定着が確認され、施工から約 1 か月後の 12 月 8 日には全試験区のほぼ全面が BSC で被覆された。しかし、施工後 2 か月目の 1 月 13 日には、ネット未施工区では凍上により、草本種子の有無にかかわらず、表面に生育した BSC ごと表土が崩落した。ネット施工区では表土崩落はなく、BSC による被覆も維持された。

**キーワード**：微細藻類、バイオリジカル・ソイル・クラスト (BSC)、BSC 工法、法面保護、晩秋施工

### Late autumn construction of the slope protection work using the biological soil crust

Kazuhiro YABE<sup>1</sup>, Mineto TOMISAKA<sup>2</sup>, Tetsushi OZEKI<sup>2</sup>, Yusuke SHIRONO<sup>2</sup>, Yuki RYO<sup>2</sup>,

Yukihiro ADACHI<sup>3</sup>, Fumio EGUCHI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tokyo University of Agriculture; <sup>2</sup>Nippon Koei Corporation, <sup>3</sup>Nikken Sohonsha Corporation

**Keywords**: microalgae, biological soil crust (BSC), BSC method, slope protection, late autumn construction

#### I はじめに

微細藻類を用いた法面保護工（以下、BSC 工法）は、植生遷移の初期段階に地表面に形成されるバイオリジカル・ソイル・クラスト（BSC）により崩壊地や法面等の裸地を早期に被覆する緑化工法である。施工方法は土木資材用に培養された土壌藻類の乾燥粉末と肥料、定着材を水と混合して適用場所に吹き付けするだけである。

新田ら(1) は、BSC 工法を東京農業大学奥多摩演習林の林道および作業道の切土法面に、2019 年 5 月に施工した。その結果、植被率は夏季において未施工区よりも施工区で 1.5 倍以上大きくなった。また、流出土砂量は、施工区において未施工区と比較して 16% 以上減少した。

小川ら(2) は、北海道の切土法面において 2017 年 7 月 BSC 工法の施工を行い、同年 10 月及び翌年 6 月に植生調査を行った。その結果、BSC 施工区においては同年 10 月と翌年 6 月ともに 50~95% の植被率を示したが、未施工区は同年 10 月時点で 10~30% 程度の被覆で、翌年 6 月には減少した。また、植生を成立させることにより、冬季の積雪・融解による侵食を抑えることが確認された。

上記は初夏から夏季に施工された事例であるが、植生の成立が困難な晩秋から冬季にかけての施工も検討する必要がある。また、BSC は表層を被覆するだけで、冬季に発生する凍上等に弱いため、他資材との組合せを検討する必要がある。そこで本研究では BSC 工法の晩秋施工を実施して、BSC 工法と植生ネットおよび種子吹付工との組合せによる効果を検証することを目的とした。

#### II 材料と方法

**1. 試験地** 東京農業大学厚木キャンパス（神奈川県厚木市）内に発生した崩壊斜面を整地して試験地（平均斜面長 14 m、幅 24 m）とした。試験地の斜面方位は北向きで、図-1 のように斜面を 4 等分して、BSC 資材の吹付を行った。資材の組み合わせは、東側から【①BSC のみ】、【②BSC+ネット】、【③BSC+種子】、【④BSC+ネット+種子】の 4 パターンとした。ネットは天然ヤシ繊維を用いたボンテラ植生基盤ネット（遮光率 40%）を使用した。このネットは地形追従性がよいのが特徴である。草本種子はパミュダグラスなどの一般的な緑化用種子を用いた。BSC 資材は日本工営（株）指定の標準的配合割合、吹付密度とした。試験地の地質は関東ロームで、水分が多く、通常の緑化工事を行うのに問題のない法面である。関東ロームの法面の特徴として、冬季には凍上による表土崩落が発生し、面状侵食をすることがあげられる。施工は、2022 年 11 月 9 日から 10 日に行った。9 日にネットの施工、10 日に資材の吹付を実施した。

**2. 調査項目** 調査項目は、土壌硬度と植生調査とした。それぞれの調査は、試験地の同じ勾配の斜面下部に 1 m × 1 m のコドラートを設置して行った。土壌硬度は、山中式土壌硬度計（藤原製作所製）を用いて各調査日において 3 回ずつ測定した。植生については、草本植物の生育本数について調査した。調査は、施工日から 14 日後の 2022 年 11 月 24 日に開始し、その後は約 1 か月後の 12 月 8 日と約 2 か月後の 2023 年 1 月 13 日に行った。

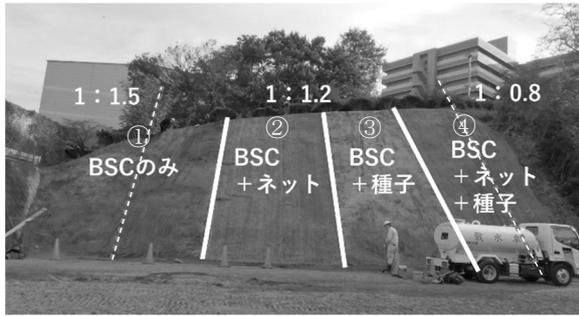


図-1. 試験地 (2022年11月10日)  
※白実線は試験区境界, 白破線は斜面勾配境界

### III 結果と考察

**1. BSC および植生の状況** すべての試験区において施工後14日目にはBSCの定着が確認され、1か月後にはBSCがほぼ全面を覆い、播種区③と④では吹き付けした草本種子の発芽も確認された。しかし、施工後2ヶ月目には、ネット無施工区①と③では凍上によりBSCごと表土が崩落、流出してしまった(図-2)。ネット施工区②と④ではBSCが全面を覆い、ネットとBSCにより表土崩落が抑えられていることが確認された。今回使用した植生ネットは地形追従性がよいこともその効果に影響したものと考えられる。



図-2. 施工後2ヶ月 (2023年1月13日)  
※③下部の白い部分は崩落土砂が堆積したもの

**2. 土壌硬度** 施工後1か月まではすべての試験区において土壌硬度指数10mm以上を維持していたが、施工後2ヶ月ではネット無施工区①と③は、凍上による表土崩落により10mmを下回る結果となった(図-3)。ネット施工区②と④は、同時期にも10mmを超えており、一般に植生導入に適する硬度を維持していた(図-3)。

**3. 植生調査** 草本植物の生育本数を見ると(図-4)、播種区である③と④において、施工1か月で吹き付けた草本種子が発芽しはじめたことがわかる。しかし、③では凍上による表土崩落によりほぼ裸地に戻った。④は吹き付けた草本が順調に生育した。ネット施工区②、④では冬季の間も植生は確認された(図-4)。

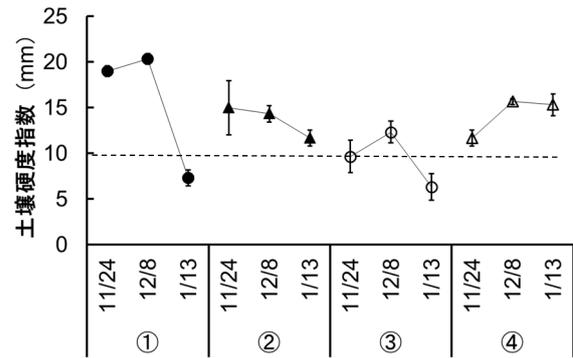


図-3. 各施工区における土壌硬度指数  
※エラーバーは標準誤差

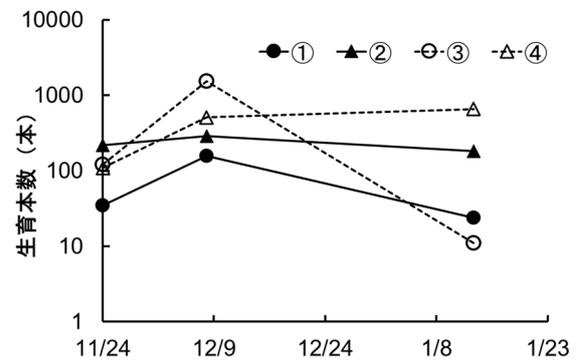


図-4. 各施工区における草本植物の生育本数  
※縦軸は対数目盛

### IV まとめ

本研究では、BSC工法の晩秋施工について検討した。BSCは晩秋でも1か月ほどで全体を覆うことが確認された。しかし、BSCは表層を覆うのみであるため、種子を配合しても植生成立が間に合わず、凍上による表土崩落を防ぐことができないことも確認された。BSC工法と植生ネットを併用することで、凍上による表土崩落防止が可能であることが確認された。特に、今回使用した植生ネットは地形追従性がよく、BSC工法との組み合わせに、効果を発揮するものと考えられる。

### 引用文献

- (1) 新田壮真・矢部和弘・今富裕樹・江口文陽・徳永冠哉 (2020) 微細藻類を用いた法面保護工の機能評価. 森利誌 35: 97-101
- (2) 小川遼・橋本和明・富坂峰人・平山友彰 (2019) BSC (バイオロジカル・ソイル・クラスト) を活用した土壌表面の侵食防止技術-北海道の農地法面における適用事例- 土質基礎に関する「防災技術」技術報告会報告集: 19-24

## フタマタナガマドキノコバエにおける温度と発育との関係

北島 博<sup>1</sup><sup>1</sup> 森林総合研究所

**要旨:** 菌床シイタケ害虫フタマタナガマドキノコバエの温度と発育期間との関係を、16~28°C LD15:9の条件下でシイタケ菌床を餌に飼育して調べた。卵から成虫までの平均発育日数は、温度が16~22°Cまでは28.3~16.1日と温度の上昇に伴って短くなったが、25~28°Cでは15.6~15.7日とほとんど変わらず、25°Cで高温障害が見られた。このため、温度16~22°Cの発育期間から発育零点および有効積算温度を求めると、それぞれ8.1°Cおよび223.3日度となった。

**キーワード:** 発育零点, きこの害虫, 菌床栽培, シイタケ, 有効積算温度

**Relationship between temperature and developmental period in shiitake-pest mushroom fly, *Neoempheria bifurcata***Hiroshi KITAJIMA<sup>1</sup><sup>1</sup>Forestry and Forest Products Research Institute**I はじめに**

ナガマドキノコバエ類は、菌床シイタケ、原木シイタケ、原木マイタケ、菌床アラゲキクラゲ栽培における害虫である(例えば4など)。日本には*Neoempheria*属が7種分布しているが、被害をもたらす種としては、リュウコツナガマドキノコバエ(以下、リュウコツ)、フタマタナガマドキノコバエ(以下、フタマタ)、およびフレナガマドキノコバエが知られている(3)。リュウコツでは卵から成虫までの発育日数は、20°Cで23日程度、25°Cで17日程度、長日条件下での発育零点は♂7.2°C、♀7.3°C、有効積算温度は♂286.7日度、♀299.7日度である(2)。一方、他2種では、温度と発育との関係は解明されていない。そこで、フタマタにおいて温度と発育との関係を求めた。

**II 材料と方法**

群馬県桐生市の菌床シイタケ生産者の栽培施設において、2021年11月30日にフタマタの幼虫を採集した。幼虫を森林総合研究所(茨城県つくば市)に持ち帰り、25°C LD15:9条件下で、シイタケ菌床を用いて2世代飼育した。菌床表面に形成された蛹を採集し、水で湿らせたティッシュペーパーを敷いたポリカップ(径11×高さ5cm)(以下、ポリカップと表記)に収め、羽化を待った。羽化した成虫の雌雄1つがい、ポリカップに収めて、25°C LD15:9条件下に置き、ティッシュペーパー上に産卵させた。雌雄のつがいは10ペア作成し、各ペアから50卵ずつ採集した。水で湿らせたろ紙(Advantech製No.2、約4×6cm)に各ペアの卵を10個ずつ、合計100卵置い

て、それを半分に切った2.5kg完熟シイタケ菌床上に載せた。その菌床をプラケース(19×29×高さ20cm)に入れ、16、19、22、25、28°C LD15:9の恒温室内に置いた。ふ化を毎日観察し、未ふ化の卵が残されたろ紙は新しい菌床に移して、同じ温度条件下に置いた。ふ化が見られた菌床で、菌床の表面に形成される蛹を毎日観察し、蛹は菌床から取り除いてポリカップに入れた。これを同じ温度条件下に置いて羽化を毎日観察し、羽化成虫の性を確認した。発育段階ごとの発育零点と有効積算温度を、不変長軸法により求めた(1)。

**III 結果と考察**

フタマタの発育段階別、温度別の生存率を表-1に示した。羽化までの生存率は16°Cで低くなる傾向が見られたものの、卵から成虫までの発育段階の生存率において温度間、性間に有意差は見られなかった( $\chi^2$ 検定,  $p > 0.05$ )。

フタマタの発育日数を、温度別、発育段階別に表-2に示した。発育日数は温度の上昇に伴い短くなったが、卵では28°C、幼虫では25°C以上で、温度が上昇しても発育日数が短くならなかった。温度間と性間における二元配置分散分析では、温度間( $p < 0.05$ )、交互作用( $p < 0.05$ )に有意差が見られたが、性間( $p > 0.05$ )には有意差が見られなかった。

各発育段階の生存個体全体を対象に、不変長軸法に従って発育日数と発育日数×温度との関係を見ると、卵では28°Cから、幼虫および卵から幼虫では25°Cから高温障害が見られたため、発育零点と有効積算温度の解析か

ら除いた。表-3 に、フタマタの発育段階ごと生存個体全体を対象に求めた発育零点および有効積算温度を示した。発育零点は発育段階で異なり、6.6°C~8.7°Cとなった。卵から成虫までの発育零点および有効積算温度は、それぞれ8.1°Cおよび223.3日度となった。

今回の実験では、フタマタには25°Cで高温障害が見られた。リュウコツでは25°Cでの飼育で高温障害は見られなかったことから(2)、フタマタの方が高温条件には不適であると考えられた。

今回求めたフタマタの卵から成虫までの発育零点と有効積算温度は、リュウコツの長日におけるそれらと比べて(2)、発育零点は高く有効積算温度は小さかった。これらから、気温20°Cで卵から成虫までの理論的な発育日数を求めると、フタマタは18日間、リュウコツは22日間となり、フタマタの方が施設内での世代の繰り返しが多くなると考えられた。栽培初期に成虫が施設内に侵入すると、長期間増殖が繰り返される。このため、菌床搬入等栽培初期でも施設出入り口の開閉をこまめに行うなど、成虫の侵入に注意する必要があると考えられた。

表-1. フタマタナガマドキノコバエの温度別、発育段階別の生存率 (%)

発育段階	性	生存率 (%)				
		16°C	19°C	22°C	25°C	28°C
卵		66	63	74	68	79
幼虫	♂	18	27	33	32	28
	♀	13	20	19	27	26
	全体	31	49	52	59	63
蛹	♂	18	27	28	28	28
	♀	13	20	19	27	26
	全体	31	47	47	55	54
卵~成虫	♂	18	27	28	28	28
	♀	13	20	19	27	26
	全体	31	47	47	55	54

表-2. フタマタナガマドキノコバエの温度別、発育段階別の発育日数

発育段階	性	発育日数 (平均値±標準誤差)				
		16°C	19°C	22°C	25°C	28°C
卵		6.8 ± 0.1	5.1 ± 0.0	4.1 ± 0.1	3.5 ± 0.1	3.5 ± 0.1
幼虫	♂	17.7 ± 0.6	11.9 ± 0.4	10.0 ± 0.3	9.7 ± 0.2	10.5 ± 0.3
	♀	16.8 ± 0.7	13.0 ± 0.4	9.9 ± 0.3	10.6 ± 0.3	10.8 ± 0.2
	全体	17.3 ± 0.5	12.5 ± 0.3	10.0 ± 0.2	10.1 ± 0.2	10.7 ± 0.2
蛹	♂	4.2 ± 0.1	3.0 ± 0.1	2.3 ± 0.1	2.0 ± 0.0	1.4 ± 0.1
	♀	4.1 ± 0.1	3.1 ± 0.1	2.3 ± 0.1	2.0 ± 0.1	1.6 ± 0.1
	全体	4.1 ± 0.1	3.0 ± 0.1	2.3 ± 0.1	2.0 ± 0.0	1.5 ± 0.1
卵~成虫	♂	28.9 ± 0.6	20.0 ± 0.4	16.0 ± 0.3	15.1 ± 0.3	15.5 ± 0.4
	♀	27.4 ± 1.0	21.1 ± 0.4	16.2 ± 0.4	16.1 ± 0.3	15.9 ± 0.2
	全体	28.3 ± 0.6	20.0 ± 0.3	16.1 ± 0.2	15.6 ± 0.2	15.7 ± 0.2

謝辞：フタマタ幼虫の採集にご協力いただいた、群馬県桐生市の菌床シイタケ生産者および森林総合研究所関西支所の向井裕美氏にお礼申し上げる。本研究は、JSPS 科研費 23H02261 により実施した。

#### 引用文献

- (1) Ikemoto T, Takai K (2000) A new linearized formula for the law of total effective temperature and the evaluation of line-fitting methods with both variables subject to error. Environ. Entomol. 29: 671-682
- (2) 北島博・大谷英児・川島祐介 (2012) ナガマドキノコバエの発育に及ぼすシイタケ菌床、日長および温度の影響. 応動昆 56: 1-7
- (3) Sueyoshi M (2014) Taxonomy of fungus gnats allied to *Neoempheria ferruginea* (Brunetti, 1912) (Diptera: Mycetophilidae), with descriptions of 11 new species from Japan and adjacent areas. Zootaxa 3790 (1): 139-164
- (4) 末吉昌宏・村上康明・川口真司・小幡靖・前田由美 (2015) 原木シイタケ・原木マイタケ・菌床アラゲキクラゲ栽培施設で発生したリュウコツナガマドキノコバエとフタマタナガマドキノコバエ (双翅目キノコバエ科). 森林総研研報 14: 43-47

表-3. フタマタナガマドキノコバエの発育段階ごとの発育零点および有効積算温度

発育段階	発育零点 (°C)	有効積算温度 (日度)
卵	6.6	64.3
幼虫	7.9	139.8
蛹	8.7	30.6
卵~成虫	8.1	223.3

# 林齢の異なるコナラにおけるカシノナガキクイムシの発生量と

## 粘着資材により捕獲した生物相

松本 薫<sup>1</sup>・室 紀行<sup>2</sup>

<sup>1</sup>埼玉森林インストラクター会・<sup>2</sup>埼玉県寄居林業事務所森林研究室

**要旨:** 小面積皆伐により更新した30年生以下(14, 20, 21, 23, 27年生)のコナラと50年生以上のコナラにおいて、カシノナガキクイムシの発生量に影響する要因をランダムフォレストにより解析した。発生量は穿孔密度と周辺5mのコナラ枯れ被害木の胸高断面積合計の影響が大きく、いずれも値が高いほど発生量が多くなる傾向となった。対して、胸高直径と更新の有無の影響は小さかった。また、粘着資材にはヨシブエナガキクイムシや徘徊性昆虫が多く確認された。天敵種が知られるケシクスイ類も確認されたが、発生量への影響は小さかった。

**キーワード:** コナラ枯れ, コナラ, 雑木林, 二次林, 公園管理

### Population density of *Platypus quercivorus* in *Quercus serrata* at different forest age and list of species captured by sticky materials

Kaoru MATSUMOTO<sup>1</sup> and Noriyuki MURO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Forest Instructor Saitama; <sup>2</sup>Saitama Prefecture Yorii Forestry Promotion Office Forest laboratory

#### I はじめに

カシノナガキクイムシ (*Platypus quercivorus*, 以下、カシナガ) によるブナ科樹木萎凋病 (以下、ナラ枯れ) は全国的に拡大している。数年で終息するとされる一方、同じ地域で繰り返す傾向にある(4)。対策には資材を用いた単木対策のほか、面的な対策として林の更新があり、若齢林では被害が少ないとの報告がある(1)。しかし、更新の有無による被害傾向の違いを比較した事例はなく、更新を面的な対策として活かす際の情報が不足している。

そのような中、さいたま緑の森博物館 (以下、緑森) では小面積皆伐更新が行われており、林齢の異なる林がある。そこで、30年生以下と50年生以上の林におけるカシナガ発生量を比較することで、ナラ枯れを踏まえた継続的かつ面的な管理のための情報を得ることを目的とした。また、面的な対策にはカシナガの天敵を利用した手法も提案されている(3)。そこで、カシナガ発生量の調査にあわせて、粘着面を内向きに設置した粘着資材により捕獲した生物種を調査した。

#### II 材料と方法

**1. 調査地** 調査は埼玉県所沢市及び入間市に位置する緑森で行った。調査地の標高は130~180m、面積は約85haである。敷地内はコナラが大半を占め、小面積皆伐更新を継続している更新区域と施業を行っていない遷移区域に分けられる。

**2. 調査と解析方法** 調査対象木は更新区域(14, 20, 21, 23, 27年生)の12本、50年生以上である遷移区域の10本とし(図-1)、大きく西側と東側に分けられる。なお、選定の条件は、防除のための対策を行っていない、かつ、2022年に初めてカシナガによる穿孔を確認したコナラとした。松本(5)にて計測していた調査対象木とその周辺5mのブナ科樹木の胸高直径及びカシナガ穿孔数を使用した。カシナガ穿孔数は、1本につき20cm×20cmの範囲を50cm以下の谷側と山側、50~100cmの谷側あるいは山側の3箇所を選定して調べた。2023年6月4日から同年7月17日までの期間には、穿孔数の調査と同じ箇所に粘着資材(かしながホイホイ、アース製薬(株)製)の粘着面を内向きに設置した。粘着資材の回収は、

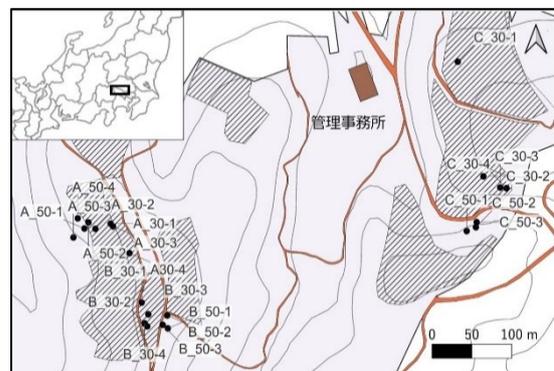


図-1. 調査地の概要

※黒丸が調査対象木、斜線部は更新区域

表-1. 粘着資材で10個体以上確認した生物種

種類	個体数
カシノナガキクイムシ	5,096
アリ類	1,453
ヨシブエナガキクイムシ	858
ハエ類	276
甲殻類	182
クモ類	102
甲虫類 (内、ケシキスイ類)	98 (37)
ハチ類	80
多足類	63
ザトウムシ類	55
ゴキブリの仲間	37
ハサミムシの仲間	37

同年6月13日, 6月25日, 7月3日, 7月17日に行い, カシナガ及びほかの生物種について肉眼で識別できる個体の数を記録した。同年9月には調査対象木の健全度として, 健全, 半分程度枯死, 枯死を識別した。

解析は教師あり機械学習の一手法であるランダムフォレスト (Random Forest, 以下 RF) により行った(2)。RF には R version 4.1.2 の randomForest 及び tuneRF パッケージを用いた。目的変数は, 1つの粘着資材を4分割し設置日数で割った, 100 cm<sup>2</sup>あたり・1日あたりのカシナガ発生数 (以下, カシナガ発生数) とした。説明変数は, 胸高直径, 穿孔密度, 東西の区別, 更新の有無, 林齢, 資材設置位置, 健全度, ヨシブエナガキクイムシの発生数及びケシキスイ類の有無とした。さらに, 周辺5mの胸高断面積合計 (Basal Area, 以下, BA) をナラ枯れ被害木 (以下, 周辺5mナラ枯れBA) とブナ科樹木 (以下, 周辺5mブナ科BA) に分けて説明変数とした。RFの設定は, 決定木の数を1,000個, ノードサイズは5, 決定木の作成に使う特徴量は6個とした。

### III 結果と考察

表-1に10個体以上確認できた生物種を示す。カシナガが最も多く確認され, 同じナガキクイムシ科ではヨシブエナガキクイムシも確認できた。ほかには, 徘徊性昆虫が多く, 天敵として報告(3)がある中ではケシキスイ類を確認した。ただし, ケシキスイ類の有無のカシナガ発生数への影響は小さかった (図-2)。天敵の影響を明らかにするには, 穿入孔を直接調べるチューブトラップなどによる調査も必要となる。

図-2のとおり, カシナガ発生数に影響の大きかった変数は周辺5mナラ枯れBAと穿孔密度であった。いずれ

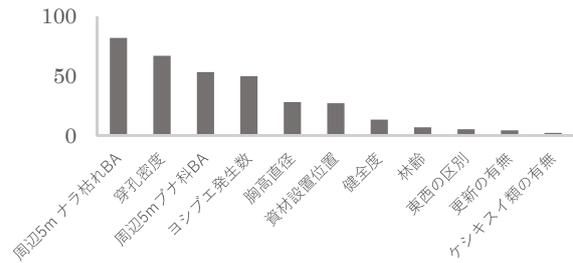


図-2. ランダムフォレストによる変数の重要度 (カシナガ発生数に影響する要因)

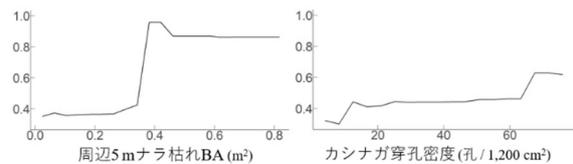


図-3. カシナガ発生数に対する部分従属プロット

も値が高いほどカシナガ発生数が多くなる傾向となった (図-3)。また, 胸高直径や林齢, 更新の有無の影響は小さかった (図-2)。カシナガのマスアタックは集中して分布する傾向があり(5), 集中分布した穿孔密度の高いコナラほどカシナガ発生数が多かった。一方, 胸高直径が太いほど繁殖容積が多くなりカシナガには有利であるが(4), カシナガ発生数への影響は小さかった。これらから, カシナガ発生数を抑える対策の際には, 胸高直径や林齢だけでなく, ナラ枯れ被害の集中分布も考慮すべきと考える。ただし, 調査地はナラ枯れ発生から3年経過した激害地であり, カシナガの個体数増加による傾向とも考えられる。今後は, 時間経過や被害分布の解析により, 効果的な更新の組み合わせ方を検討する必要がある。

**謝辞:** (株) 自然教育研究センターの皆様には調査に際して多くのご協力を頂いた。ここに謝意を表する。

### 引用文献

- (1) 阿部好淳・松元信乃 (2022) 都立公園の小面積皆伐によるナラ枯れ被害の回避～桜ヶ丘公園こならの丘～. 東京都建設局, 緑化に関する調査報告 (その49) I-5
- (2) 花岡創 (2022) 森林遺伝育種のデータ解析方法 (実践編9)ランダムフォレスト. 森林遺伝育種 11: 147-151
- (3) 伊藤昌明・大橋章博 (2014) カシノナガキクイムシ *Platypus quercivorus* (MURAYAMA) の穿入孔から脱出した捕食者相. 岐阜県森林研究所研究報告 43: 5-11
- (4) 小林正秀・上田明良 (2005) カシノナガキクイムシとその共生菌が関与するブナ科樹木の萎凋枯死: 被害発生要因の解明を目指して. 日本森林学会誌 87: 435-450
- (5) 松本薫 (2023) 小面積皆伐更新によるナラ枯れ被害の軽減と大径木によるマスアタックの集中傾向. 日本緑化工学会誌 49: 119-122

## 漆滲出量に優れた個体のスクリーニングに適した形質の検討

関根直樹<sup>1</sup>・小林久泰<sup>1</sup>・神長正則<sup>2</sup>・細田浩司<sup>1</sup>

<sup>1</sup>茨城県林業技術センター・<sup>2</sup>奥久慈漆生産組合

**要旨**：漆滲出量に優れた個体（以下、優良個体）のスクリーニングに適した形質を明らかにするため、漆滲出量を応答変数とし、ウルシの各形質（胸高直径、葉の特性（長さ、幅、表面積、重量）等）を個別に説明変数に用いたモデルを構築した。その結果、多くのモデルで漆滲出量とウルシの各形質は正の関係にあり、胸高直径、葉の重量などが大きいほど漆滲出量が多いと予測された。また、赤池情報量基準（AIC）が最小となったモデルは、小葉平均乾燥重量を説明変数に用いたモデルであり、小葉平均乾燥重量がスクリーニングに適した形質と考えられた。

**キーワード**：ウルシ、漆滲出量、スクリーニング、胸高直径、葉

### Screening for highly productive lacquer trees (*Toxicodendron vernicifluum*) by means of external characteristics

Naoki SEKINE<sup>1</sup>, Hisayasu KOBAYASHI<sup>1</sup>, Masanori KAMINAGA<sup>2</sup>, Hiroshi HOSODA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ibaraki Prefectural Forestry Research Institute; <sup>2</sup>Okukuji Urushi Producers Association

#### I はじめに

文化庁は、国宝・重要文化財の保存修理に使用する漆については原則として国産漆を使用することとし<sup>(1)</sup>、この保存修理には年平均約2.2t必要であると予測している<sup>(2)</sup>。しかし、2021年の漆の国内消費量約23.9tのうち、国内生産量は8.5%に当たる約2.0t<sup>(3)</sup>に過ぎず、国宝・重要文化財以外の、漆器の製作等における使用を考慮すると、国産漆の増産と安定供給が必要とされている。

茨城県には、漆滲出量に優れたクローン（以下、優良クローン）林が存在するが、優良個体の判別には数か月かけた漆掻きが必要で手間がかかる。このため、漆掻きをせずとも漆滲出量を推定できる形質を見出すことが検討されており、田端ら<sup>(5)</sup>は、漆滲出長と胸高直径および葉の特性（小葉の長さ、幅の2項目）間で高い相関があることを報告している。しかし、実際に漆掻きをした滲出量と各形質間との直接的な関係は未調査である。今回の研究では、漆滲出量とウルシの木の形質（特に、葉の特性）間の直接的な関係を調べ、スクリーニングに適した形質を明らかにすることを目的として調査を行った。

#### II 材料と方法

**1. 材料** 茨城県常陸大宮市家和楽地内に植栽された8~12年生のウルシ20本（在来系統9本、優良クローン11本）を調査対象とした。

**2. 漆滲出量調査** 2020年に優良クローン2本、2021

年に在来系統4本、優良クローン3本、2022年に同様に5本、6本について、6~11月に常法（殺し掻き）によりウルシの木1本ごとの漆滲出量を測定した。

**3. 形質調査** 胸高直径、樹齢、葉の特性（14調査項目：表-1の説明変数を参照）は、漆を採取した年の7月に調査した。葉は、樹冠の中で、地面方向から2/3の高さにある複葉を、1本の木から3枚採取して測定した。乾燥重量は、新聞に挟んで常温で1か月保管した後の重量を測定した。面積は、採取した葉をコピーし、プランシメーターによって測定した。

**4. データ解析** 漆滲出量と各形質との関係を調べるために、漆滲出量を応答変数に、3で測定した各形質を個別に説明変数として、統計ソフトウェア R ver. 4.2.2 (R Core Team, 2022) を用いて、一般化線形モデル (GLM) を構築した。確率分布は正規分布、リンク関数は対数リンク関数とした。また、各モデルの AIC を比較し、漆滲出量の予測が最も良い形質を検討した。

#### III 結果と考察

漆滲出量と各形質の関係について表-1に示す。多くのモデルで漆滲出量とウルシの各形質は有意な正の関係にあり、胸高直径や葉が大きいほど漆滲出量が多いと考えられた。この結果は、田端ら<sup>(5)</sup>が漆滲出長と胸高直径および葉の特性間で高い相関があるとした結果を支持するものであった。複葉より小葉を、葉の長さ・幅・面積よ

表-1. 漆滲出量と各形質の関係 (GLM)

応答変数	説明変数 係数推定値	AIC
漆滲出量	切片 胸高直径	245.8
	4.476 *** 0.008 **	
	切片 樹齡	252.3
	4.503 *** 0.115 ns	
	切片 複葉平均生重量	243.0
	5.022 *** 0.057 **	
	切片 複葉平均乾燥重量	238.5
	4.930 *** 0.187 ***	
	切片 複葉平均表面積	247.8
	5.045 *** 0.001 *	
	切片 複葉1枚あたりの 平均小葉数	255.2
	5.704 *** 0.001 ns	
	切片 小葉最大長	246.5
	4.060 *** 0.011 **	
	切片 小葉最小長	252.1
	4.617 *** 0.015 ns	
	切片 小葉平均長	246.9
	4.021 *** 0.014 **	
	切片 小葉最大幅	243.2
	4.165 *** 0.021 **	
切片 小葉最小幅	243.5	
4.189 *** 0.035 **		
切片 小葉平均幅	242.4	
3.908 *** 0.031 **		
切片 小葉平均長/幅	252.3	
7.423 *** -0.838 ns		
切片 小葉平均生重量	233.6	
4.731 *** 0.919 ***		
切片 小葉平均乾燥重量	229.3	
4.833 *** 2.384 ***		
切片 小葉平均表面積	241.9	
4.666 *** 0.022 ***		

※単位：漆滲出量，葉の重量 g；胸高直径，葉の長さ，幅 mm；葉の面積 cm<sup>2</sup>

※有意水準：\*\*\*  $p < 0.001$ ；\*\*  $p < 0.01$ ；\*  $p < 0.05$ ；ns  $0.05 < p$

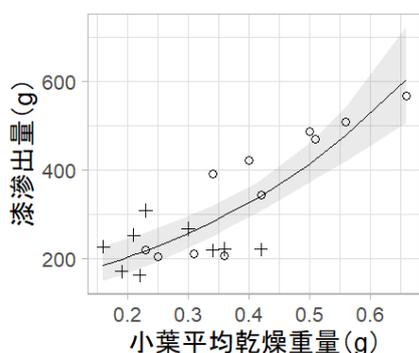


図-1. 漆滲出量と小葉平均乾燥重量の関係

※GLMの回帰線を実線，95%予測区間を着色で示す。

※+：在来系統，○：優良クローン

り重量を，葉の生重量より乾燥重量を説明変数に用いたモデルの方がAICが小さかった。このことから，葉柄や水分を含まない葉身のバイオマスが漆滲出量と関係の深い形質であると考えられた。漆液の主成分脂質であるウルシオール<sup>(4)</sup>の生合成系路は未解明で，漆液の生産と葉身のバイオマスがどのような関係にあるかは今後の検討課題である。

AICが最小となったのは，小葉平均乾燥重量を説明変数に用いたモデルであった。このことから，小葉平均乾燥重量がスクリーニングに適した形質と考えられた。図-1に漆滲出量と小葉平均乾燥重量の関係を示す。在来系統や，漆滲出量が少ない優良クローンは，小葉平均乾燥重量が0.15 gから0.45gの間にあり，小葉平均乾燥重量が0.5 g以上の個体は特に漆滲出量が多かった。

しかし，葉の乾燥には手間がかかるため，よりスクリーニングに実用的な形質を検討する必要がある。AICが2番目に小さいモデルは，小葉平均生重量を説明変数に用いたモデルであった。小葉平均生重量は小葉平均乾燥重量と相関係数が高く ( $R^2=0.92$ )，生重量は乾燥重量の約2.86倍となった。このことから，小葉平均生重量が1.43 g以上の個体の漆滲出量が多いものと推察される。漆滲出量の多い個体は胸高直径が太いことから，比較的胸高直径の太い個体から小葉平均生重量を測定し，1.43 g以上の木を対象に漆掻きをすることで，葉の乾燥の手間をかけずにスクリーニングすることが可能と示唆された。

#### 引用文献

- (1) 文化庁 (2015) 国宝・重要文化財(建造物)保存修理における漆の使用方針について(通知). 平成27年2月24日付 (26庁財第510号)
- (2) 文化庁 (2017) 文化財保存修理用資材の長期需要予測調査の結果について (国宝・重要文化財建造物の保存修理で使用する漆の長期需要予測調査). 平成29年4月28日報道発表. [https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11339187/www.bunka.go.jp/koho\\_hodo\\_oshirase/hodohappyo/2017042802.html](https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11339187/www.bunka.go.jp/koho_hodo_oshirase/hodohappyo/2017042802.html) (2023年11月7日閲覧)
- (3) 林野庁 (2023) 第II章 東日本大震災からの復興. 令和4年版森林・林業白書: 105
- (4) 椎名隆・石崎陽子 (2012) ウルシノキの分子生物学研究. うるしニュース 13: 1
- (5) 田端雅進・井城泰一・田村美帆・渡辺敦史 (2023) 漆滲出量と成長・葉特性を用いた漆滲出量の多いクローンの簡易判別. 日林誌 105: 87-95

## 熱帯島嶼地域におけるきのこ原木を用いた傾斜地の土壌流出抑制の可能性

木村健一郎<sup>1,2</sup>・安西俊彦<sup>2</sup>・松田大志<sup>2</sup>・竹中浩一<sup>2</sup>

<sup>1</sup>農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門・<sup>2</sup>国際農林水産業研究センター

**要旨：**熱帯島嶼地域では人口増加により森林が伐採され、豊富な降雨により土壌が流出し農業生産性の低下から耕作放棄地が増加している。本研究では、熱帯果樹と非木材林産物であるきのこ原木を設置することで、きのこの生産と土壌流出の抑制が両立するかを検証した。その結果、きのこ原木により土壌流出は抑制されたが、きのこの収量はわずかであった。しかし、早生樹などと組み合わせることで、苗木植栽から短期間できのこの生産が可能であることが示唆された。

**キーワード：**土壌流出抑制, きのこ原木, 熱帯島嶼, アグロフォレストリー

### Potential for the control of soil runoff from sloping land with mushroom bed log in tropical island regions.

Kenichiro KIMURA<sup>1</sup>, Toshihiko ANZAI<sup>2</sup>, Hiroshi MATSUDA<sup>2</sup>, Koichi TAKENAKA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute for Rural Engineering, NARO; <sup>2</sup>Japan International Research Center for Agricultural Sciences

**Keywords:** Soil Runoff, Mushroom bed log, Tropical Island, Agroforestry

#### I はじめに

森林減少の原因は、直接原因と根本原因に分けて論じられることが多く、主たる直接原因は森林の農地転換である(1)。農地転換に至る根本原因は、土地生産性の高さと貧困であり、農業による収益性が高ければ土地は農地となり、森林の収益性が高ければ森林として利用される(2)。

熱帯島嶼地域は土地面積に限られることから、人口増加により森林は伐採され農地へ転換される事例が多く、山間傾斜地は森林伐採された後、土壌流出により土地生産性が低下すると耕作放棄地とされる事例がみられる。

こうした課題に対処するため、国際農林水産業研究センターでは、2021年より「熱帯島嶼における山・里・海連環による環境保全技術の開発」プロジェクトを開始した(3)。本プロジェクトでは熱帯島嶼の里地里山を対象に、耕作放棄地となった傾斜地を果樹や有用樹種を植栽し、果樹園や生産林として復元し、土壌流出を抑制することを目的としている。しかし、果樹や有用樹種の導入だけでは収穫までに時間を要し短期的な収入が得られないことから、土壌流出抑制の機能を持つアグロフォレストリーの開発を検討した。熱帯モンスーン気候では、焼畑伐採跡地の直射日光下できのこが発生すること(4)から、きのこ原木を斜面に設置することで、植栽初期においても土壌流出を抑制しながらきのこ原木栽培が可能ではないかと考え、実証試験を行ったので報告する。

#### II 材料と方法

**1. 調査地** 沖縄県石垣市の国際農林水産業研究センター熱帯・島嶼研究拠点(以下、拠点)の傾斜地圃場において試験を実施した。傾斜地圃場は、1レーン当たり、水平距離10m、横幅2.5mの北側に向けて5%の下り勾配とした。

**2. 供試材料** きのこの原木はガジュマル(*Ficus microcarpa*)直径約12cm×長さ1mを用いた。種駒は市販のアラゲキクラゲ(*Auricularia polytricha*: 森産業製森81号)を用いた。原木丸太の4方向に、約16cm間隔に1列に5駒を接種し、原木1本当たり計20駒を2022年10月28日に接種した。接種後、寒冷紗をかけ1ヵ月間養生した。

熱帯果樹はアセロラ(*Malpighia* spp.)の1年生挿し木苗を用いた。被覆植物はヘアリーベッチ(*Vicia villosa*)を用いた。

**3. 試験計画** 傾斜地圃場の下端に土砂受け箱を設置し、降雨後に流出した土壌を沈砂させた。対照区として裸地区を1箇所、アセロラを植栽しヘアリーベッチを播種した処理区(Plot A)を2箇所、及びアセロラを植栽しきのこ原木を配置した処理区(Plot B)を2箇所設置した。ヘアリーベッチは処理区当たり125gを播種した。各プロットは波板を設置し、表面水が他の試験区に入り込まないように仕切った。アセロラ及び原木の配置については図1に示した。

4. 測定項目 測定項目は、土壌流出量、子実体発生量とした。土壌流出量は降雨が完全に止んだのを確認（以下、降雨イベント）し、土砂受け箱に堆積した土壌を回収後、土壌の乾燥重量を測定することで算定した。子実体発生量は、発生したアラゲキクラゲの直径が 5 cm 以上のものを収穫対象とし、枚数及び生重を確認した。

### III 結果と考察

2022 年 11 月 29 日～2023 年 9 月 13 日の期間に流出した土壌量を図 2 に示した。期間内の対照区からの土壌流出量は 170.10 kg であったのに対し、処理区はどちらも土壌流出量は Plot A が平均 19.15 kg、Plot B が平均 55.95 kg であり、無処理と比較すると土壌流出量は抑制されていた。Plot B は Plot A に比較すると約 3 倍の土壌が流出していたが、原木設置本数を増やすことで土壌流出はさらに抑制されると考えられた。ヘアリーベッチは 5 月から枯れ始め、枯れたあとも圃場に残したため土壌流出の抑制に効果的であったと考えた。

期間中 7 回の降雨イベントの総降水量は 1913 mm であり、この内 2/14～5/24 は 624.5 mm、8/24～9/13 は 600.5 mm と 2 回の降雨イベントで全体の 64%の降水量であったが、土壌流出の発生を生じさせる強度の降水量が少なかったため、土壌流出量は少なかったと考えられた。

既往の研究 (5) では、アラゲキクラゲのオガ粉菌床を拠点の平地圃場に直接設置した場合、直射日光下である開空度 100%の圃場から約 600g のアラゲキクラゲが収穫された。しかし原木からは Plot B1 は 55 カ所、Plot B2 は 69 カ所の子実体原基が確認されたにも関わらず、子実体は Plot B2 の原木 1 本から、1 枚 6.2 g のみの収穫であった。これは乾燥により子実体形成まで至らなかったためと考えられた。沖縄県で材としても利用可能な早生樹として推奨されているニレ科のウラジロエノキ (*Trema orientalis*) は 30cm の苗木が 9 ヶ月で 125 cm まで成長するが (6)、こうした有用早生樹と組み合わせることで、アラゲキクラゲの収穫量は増加すると考えられる。

今回の結果から、苗木の植栽初期においてはヘアリーベッチで土地を被覆し、被陰しやすい有用早生樹ときのご原木を組み合わせることで、土壌流出を抑制するアグロフォレストリーの可能性が示唆された。今後は、きのこの収量増加を目指し、より乾燥しにくい原木の埋設法などを検討する。

### 引用文献

(1)宮本基杖 (2010) 熱帯林における森林減少の要因—焼畑・人口増加・貧困・道路建設の再考—. 日林誌 92: 226—

234

(2) 宮本基杖 (2023) 熱帯林減少の原因と解決策—貧困削減が森林の減少の防止に有効—. 日林誌 105: 27-43

(3) 岡直子・安西俊彦・竹中浩一・岡本健・寺島義文・奥津智之・菊地哲郎 (2022) 石垣島からネグロス島へ、みどり戦略の提唱に向けた取組み. 農業土木学会誌 90: 705–708

(4) 木村健一郎・ザヤラス シンコン・カンブーミ ケットマナー・原口雅人 (2020) ラオス農山村における原木きこの栽培の導入に向けた適地の検討. 環境情報科学論文集 34: 103–108

(5) 木村健一郎・安西俊彦・江口文陽 (2023) きのご菌床栽培を用いた土壌流出防止対策技術の開発. 第 72 回農業農村工学会大会講演要旨集: 541–542

(6) 金城勝・伊東俊輔・比嘉正隆 (2007) ウラジロエノキの育苗技術について. 沖縄県森林資源研究センター研究報告 50: 43–45

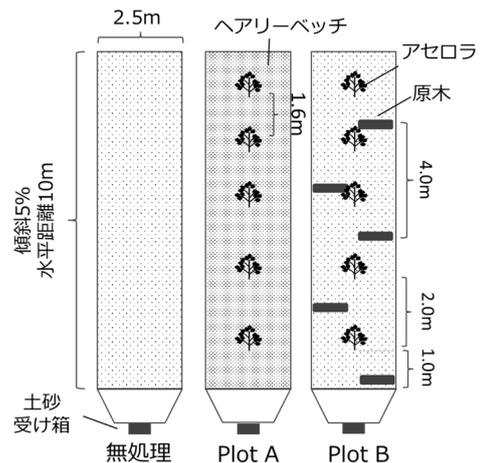


図-1. 傾斜地圃場における試験区の設定  
Fig.1 Design of test plots in sloping areas.

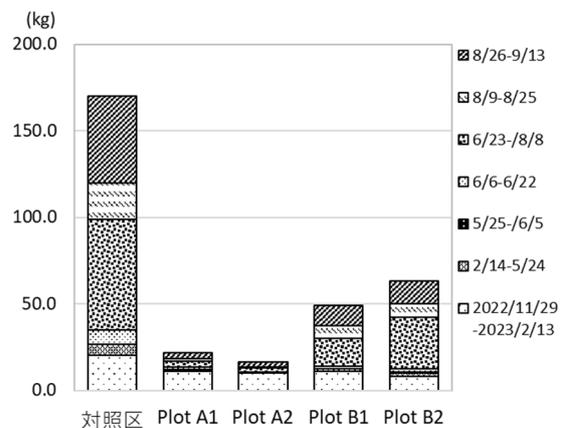


図-2. 降雨イベント毎の流出土壌量  
Fig.2 Amount of soil runoff per rainfall event.

## シイタケ原木栽培における樹種による放射性セシウムの移行係数の違い

岩澤勝巳<sup>1</sup>・小森谷あかね<sup>2</sup>・宇川裕一<sup>3</sup><sup>1</sup>千葉県農林総合研究センター森林研究所・<sup>2</sup>千葉県中部林業事務所・<sup>3</sup>千葉県農林水産部森林課

**要旨**：シイタケ原木栽培における放射性セシウムの移行係数に影響を及ぼす要因の一つと考えられる樹種の違いについて明らかにするため、千葉県で原木として用いられているクヌギ、コナラ及びマテバシイで移行係数を比較した。移行係数の平均値はクヌギの1.04に比べ、コナラが1.99、マテバシイが2.36と有意に高かった。このため、放射性セシウム濃度が同程度に低いシイタケを生産するためには、コナラ及びマテバシイはクヌギよりも濃度が低い原木・ほだ木を使用する必要があると考えられた。

**キーワード**：放射性セシウム、シイタケ、原木栽培、移行係数、樹種間差

**Differences in the transfer coefficient of radioactive cesium depending on the tree species in shiitake log cultivation**Masami IWASAWA<sup>1</sup>, Akane KOMORIYA<sup>2</sup>, Yuichi UGAWA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Forest Research Institute, Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center; <sup>2</sup>Chiba Prefectural Chubu Forestry Administrative Office; <sup>3</sup>Forest Division, Chiba Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Department

**I はじめに**

東京電力福島第一原子力発電所事故による放射性物質汚染対策として、放射性セシウム濃度の基準値である100 Bq/kg以下のシイタケを生産するために、指標値50 Bq/kg以下の原木・ほだ木の使用が定められているが(4)、より濃度の低いシイタケを生産するためには、指標値よりも濃度が低い原木・ほだ木の使用が望ましい。しかし、ほだ木の濃度が同程度であっても、発生するシイタケの濃度にはバラツキが見られることから、ほだ木からシイタケへの放射性セシウムの移行に影響を及ぼす要因の解明が不可欠である。そこで、その要因の一つと考えられる樹種の違いについて明らかにするため、千葉県でシイタケ原木として用いられているクヌギ、コナラ及びマテバシイで栽培試験を行い、移行係数を比較した。

**II 材料と方法**

**1. ほだ木の育成とシイタケの採取** ほだ木は、植菌前の冬期に伐採された千葉県中南部地域産の長さ90 cmのクヌギ、コナラ及びマテバシイ原木(表1)を用いた。試験は栽培方法の異なる2品種を用いて2回実施した。2019年3月には露地栽培用の品種「森290号」(森産業)を植菌し、翌年10~11月の自然発生シイタケを供試した。2020年3月には周年栽培用の品種「もりの夏実」(森産業)を植菌し、翌年9~11月の浸水発生、翌々年3~4

表1. 供試原木の本数、平均直径

原木樹種	2019年植菌木		2020年植菌木	
	供試本数 (本)	平均直径 (cm)	供試本数 (本)	平均直径 (cm)
クヌギ	11	10.5	13	10.7
コナラ	15	9.7	14	10.5
マテバシイ	15	11.2	10	12.0

月の自然発生及び11月の浸水発生シイタケを供試した。育成は森林研究所内のほだ場で井桁伏せで行った。

**2. セシウム137濃度の測定と移行係数の算出** ほだ木は、植菌翌年の最初のシイタケ発生前に末口20 cmを切断して樹皮と木部に分けてセシウム137濃度を測定し、乾重量の比率からほだ木濃度を算出した。シイタケは、1~3回発生したシイタケのセシウム137濃度を測定した。シイタケの濃度は発生回数による差が認められないがバラツキがある(5)ことから、複数回発生した2020年植菌木のシイタケについては平均値を使用した。移行係数はシイタケのセシウム137濃度平均値をほだ木濃度で除して算出した。なお、セシウム137濃度はゲルマニウム半導体検出器(SEIKO EG&G社製SEG-EMS/DS-PA11108)により測定し、ほだ木は含水率12%、シイタケは92%の値に補正した。

**III 結果と考察**

樹種ごとのほだ木とシイタケのセシウム 137 濃度測定値を表 2 に示した。ほだ木から発生させたシイタケにおけるセシウム 137 の移行係数平均値は全体で、クヌギの 1.04 に比べ、コナラが 1.99、マテバシイが 2.36 と有意に高く (図 1)、樹種により移行係数が異なっていた。このため、放射性セシウム濃度が同程度に低いシイタケを生産するためには、コナラ及びマテバシイはクヌギよりも濃度が低い原木・ほだ木を使用する必要があると考えられた。なお、コナラの移行係数は 2019 年植菌木と 2020 年植菌木で差があったが、植菌した品種の違いによるものかどうかは、データを蓄積し、検証する必要がある。

移行係数に樹種間差が生じた一つ要因として、樹皮の厚さの違いが考えられる。樹皮の厚さは写真 1 に示したように一般的にクヌギ>コナラ>マテバシイと、樹種によって厚さが異なっており (1, 3)、本試験におけるほだ木でもほだ木全体に占める樹皮の乾重量の割合 (平均値±標準誤差) はクヌギが 32±1.42%、コナラが 24±0.80%、マテバシイが 14±0.57% であった。樹皮のセシウム 137 濃度は木部よりも各樹種で同程度に高い (表 2) ことから、ほだ木全体の濃度は木部の濃度よりも高くなる。樹皮が厚くほだ木全体の乾重量に占める樹皮の割合が多いと、木部の濃度に比べほだ木全体の濃度がより高くなる。このため、ほだ木全体の濃度に対する木部の濃度では、マテバシイがクヌギに比べ相対的に高くなる (図 2)。一方、シイタケの濃度はシイタケ菌がセシウム 137 を主に吸収する木部の濃度と高い相関があるため (2)、シイタケの濃度をほだ木全体の濃度で除して算出する移行係数は、木部の濃度が相対的に高いコナラやマテバシイで高くなったと考えられる。

なお、関根ら(5) は樹皮の薄いサクラ類が樹皮の厚いクヌギよりも移行係数が低いことを報告しており、移行係数の樹種間差は、樹皮の厚さ以外の要因が影響している場合もあると考えられる。

## 引用文献

- (1) 千葉県 (1994) マテバシイを利用したシイタケ栽培. 農林水産技術会議指導資料. 22pp
- (2) 岩澤勝巳 (2017) ほだ木各部位とシイタケとの放射性セシウム濃度の関係及び育成期間による影響. 関東森林研究 68: 157-160
- (3) 沖村義人・古野毅・藤江勲 (1986) 樹皮による落葉広葉樹の樹種識別に関する研究. 山陰地域研究 (森林資源) 2: 37-52
- (4) 林野庁: きこの原木・ほだ木の当面の指標値の改正について. <https://www.rinya.maff.go.jp/j/tokuyou/attach/pdf/shihyouti-index-1.pdf> (2023.9.20参照)

shihyouti-index-1.pdf (2023.9.20参照)

(5) 関根直樹・小林久泰・金田一美有・山口晶子 (2023) クヌギ・サクラ類を用いたシイタケ原木栽培における放射性セシウム濃度. 関東森林研究 74-1: 1-2

表 2. ほだ木とシイタケのセシウム 137 濃度測定値

樹種	ほだ木のセシウム137濃度 (Bq/kg)			シイタケのセシウム137濃度 (Bq/kg)
	木部	樹皮	全体	
クヌギ	6.1±1.97	19.0±4.01	9.8±2.24	12.6±4.37
コナラ	6.3±1.43	20.2±3.33	9.4±1.70	18.1±3.82
マテバシイ	5.8±0.24	22.7±1.77	8.2±0.32	19.0±1.21

注) 平均値±標準誤差

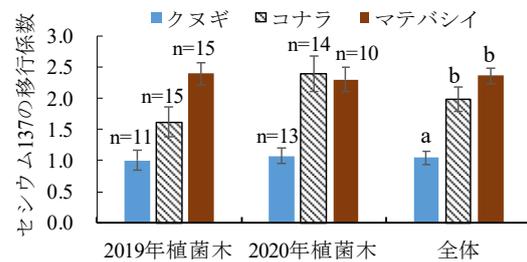


図 1. 樹種ごとのセシウム 137 の移行係数平均値

- 1) 樹種間には、対数変換後に実施した Tukey-Kramer 法により、異なる英小文字間に 5%水準の有意差あり
- 2) 植菌年間は、対数変換後の 2 元配置の分散分析の結果、5%水準で有意差なし
- 3) エラーバーは標準誤差



写真 1. 供試樹種の樹皮の様子

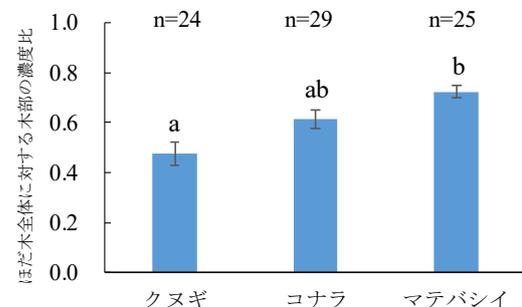


図 2. ほだ木全体のセシウム 137 濃度を 1 とした時の木部の濃度の比

- 1) 樹種間には角変換後に実施した Tukey-Kramer 法により、異なる英小文字間に 5%水準の有意差あり
- 2) エラーバーは標準誤差

## マツタケ菌根苗作出に有用であった接種資材の汎用性

小林久泰<sup>1</sup>・倉持眞寿美<sup>1</sup><sup>1</sup>茨城県林業技術センター

**要旨**：マツタケ菌根苗作出に有用であった接種資材を他の菌根性きのこ、ホンシメジ、シモフリシメジ、アミタケ、アカハツの菌根苗作出時に使用した場合の汎用性を調査した。4種の培養菌糸を用いて、マツタケと同様の菌根苗作出試験を行い、育苗後半年経過した菌根苗の生育状況を観察、記録した。1年育苗し、1年半後の地上部乾重、地下部乾重、シロ乾重を比較検討した結果、液体培養と同等の成長量があり、接種資材のホンシメジ菌根苗作出における有用性を明らかにすることができた。

**キーワード**：菌根性きのこ、ホンシメジ、接種資材

## Versatility of the inoculation material for mycorrhizal seedling production associated with a matsutake mushroom

Hisayasu KOBAYASHI<sup>1</sup>, Masumi KURAMOCHI<sup>1</sup><sup>1</sup>Ibaraki Prefectural Forestry Research Institute

**Keywords**: Mycorrhizal mushroom, *Lyophyllum shimeji*, the inoculation material

## I はじめに

菌根性きのこの栽培に当たっては、菌糸を植物の根に共生をさせた苗木（菌根苗）を作出することが重要である。しかし、その工程は大変複雑で、特に菌糸を根に接種することは無菌的に行うち密な作業であり、2Lの容器に接種するときには10分程度の時間がかかる。そこで、菌根性きのこのマツタケについて、先をとがらせた直径5mmのポリプロピレン製棒にステンレスネットを巻き付けた接種資材を考案し、液体培地のみで育てた菌糸体と、液体培地に入れて菌糸体を絡ませた接種資材を用いて、菌根苗作出試験を行ったところ、接種資材では接種時間は従来の半分以下に短縮された(1)上、菌根苗の成長量も同等以上のものとなり(2)、その有用性が確認できている。しかし、マツタケ以外の菌根性きのこに対する汎用性については検証していない。今回は、接種資材を用いて、ホンシメジ、シモフリシメジ、アミタケ、アカハツ菌根苗作出試験を行った結果を報告する。

表-1. 供試菌株

種名	系統名	分離年月日	採集地
ホンシメジ	MK55	2006.10.20	不明（同定依頼された子実体）
	MK57	2006.12.28	試験栽培子実体より再分離
シモフリシメジ	AT615	1997.10.13	常陸大宮市コナラ林
	AT660	1998.11.3	常陸大宮市コナラ林
アカハツ	AT561	1997.7.3	鉾田市クロマツ林
	AT583	1997.9.24	那珂市アカマツ林
アミタケ	AT606	1997.9.30	常陸大宮市アカマツ林

## II 材料と方法

**1. 菌根苗作出** 菌根苗作出には、茨城県林業技術センター（以下、センター）保存菌株（表-1）を供試した。それぞれの菌糸培養に用いた培地はMNC培地(5)をベースにし、先行研究に基づき(3)、菌種ごとにグルコース、酵母抽出物、カザミノ酸を最適化したもの（表-2）を用いた。処理区は液体培地に入れた接種資材に繋茂させた菌糸体を使用し、対照区は液体培地のみで増殖させた菌糸体を使用した。土壌はセンター構内の褐色森林土壌を用い、120℃60分でオートクレーブ滅菌し、それぞれの菌糸体を接種した。供試数は各区につき3である。

菌根苗の作出は小林ら(4)の方法を参考に以下のとおり行った。宿主植物はアカマツを用い、センター採種園で採取された種子を10%さらし粉液にて表面殺菌し、発芽させた当年生の無菌実生苗を、菌糸を接種した滅菌土壌に植え付けた。

**2. データ解析** 苗を植え付けてから半年後に菌根苗

の生育状況を目視により調査した。容器側面から苗を観察し、短葉、針葉、茎、根、菌根の5調査項目を設け、-（観察されない）、+（観察される）、++（顕著に観察される）の3段階で評価した。短葉、針葉、茎、根については、植物の指数としてまとめて集計し、菌根については菌の指数として単独で集計し、総合

的に評価した。4種類の菌根性きのこのうち、その時点で良好な生育を示したホンシメジについて、さらに1年育苗し、1年半後の成長量調査を行った。苗を地上部、地下部、シロに分け、乾重を計測した。乾重は105℃24時間乾燥させた重量とした。計測値について、Wilcoxonの順位和検定により有意差検定を行った。

### III 結果と考察

目視調査の結果を表-3に示す。菌種、系統により処理区の評価が高い場合や、その逆もあり、一定の傾向はみられなかった。この中で、++が半数を超えたホンシメジ菌根苗について、1年半後の成長量調査の結果を図-1に示す。平均値では処理区、対照区の間で明瞭な傾向はなく、統計的にもすべて有意差 ( $p > 0.05$ ) はなかった。効率の良い作出法で既存のものと同等の菌根苗の作出に成功できたことで、ホンシメジについては、接種資材の汎用性が認められた。

謝辞：本研究は、特別電源所在県科学技術振興事業「菌

根性きのこの感染・育成技術の開発に関する試験研究事業」により実施した。

### 引用文献

- (1) 小林久泰・寺崎正孝 (2011) マツタケ接種源開発試験研究事業. 茨城県林業技術センター業務報告 48: 29-30
- (2) 小林久泰・寺崎正孝 (2012) マツタケ接種源開発試験研究事業. 茨城県林業技術センター業務報告 49: 29-30
- (3) 小林久泰・倉持眞寿美 (2021) 有機物濃度が菌根性きのこの菌糸伸長に及ぼす影響. 関東森林研究 72: 153-156
- (4) 小林久泰・倉持眞寿美・小倉健夫・小野瀬究明・山田明義 (2007) 大型培養容器によるマツタケのシロ様構造を有するマツ菌根苗の生産. 日本きのこ学会誌 15: 151-155
- (5) Yamada A, Katsuya K (1995) Mycorrhizal association of isolates from sporocarps and ectomycorrhizas with *Pinus densiflora* seedlings. Mycoscience 36: 315-323

表-2. 菌種ごとの培地におけるグルコース、イースト、カザミノ酸濃度 (単位 g/L)

	グルコース	酵母抽出物	カザミノ酸
ホンシメジ	5	0.10	0.046
シモフリシメジ	20	0.10	0.046
アカハツ	20	0.05	0.046
アミタケ	5	0.05	0.023

表-3. 育苗半年後の生育状況評価 (数値は苗数, 植物/菌根)

菌種	ホンシメジ						シモフリシメジ					
	MK55			MK57			AT615			AT660		
	-	+	++	-	+	++	-	+	++	-	+	++
処理区	0/0	4/0	8/3	0/0	3/2	9/1	8/3	2/2	0/0	10/3	2/0	0/0
対照区	0/0	3/1	9/2	0/0	5/2	7/1	4/1	8/2	0/0	10/3	2/0	0/0

菌種	アカハツ			アミタケ					
	AT561			AT583			AT606		
	-	+	++	-	+	++	-	+	++
処理区	12/3	0/0	0/0	10/3	2/0	0/0	12/3	0/0	0/0
対照区	12/3	0/0	0/0	10/3	2/0	0/0	2/2	10/1	0/0

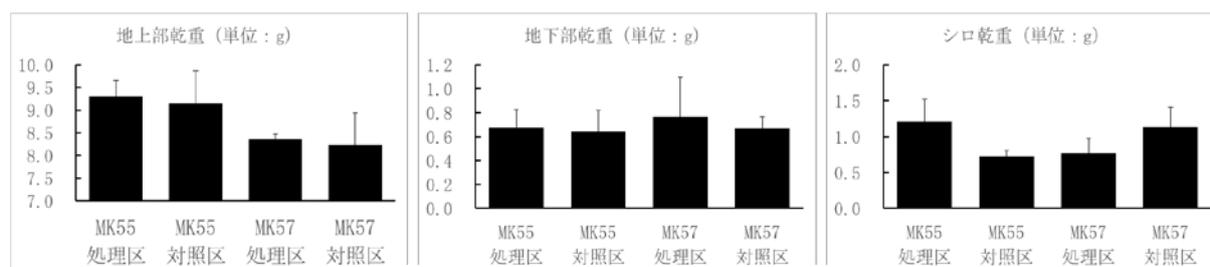


図-1. ホンシメジを接種した菌根苗の1年半後の成長

## エノキタケのスギオガ粉菌床栽培におけるコーンコブミール主体培地廃菌床の再利用

武田綾子<sup>1</sup><sup>1</sup>新潟県森林研究所

**要旨:** コーンコブミールを主体とし各種栄養材等を配合したエノキタケ菌床培地の廃菌床をスギオガ粉主体のエノキタケ菌床培地の基材と置換した。対照区は基材にスギオガ粉を100%使用し、スギオガ粉の容積比30%を廃菌床に置換した廃菌床区、スギオガ粉の容積比30%を廃菌床に、30%を未加工もみ殻で置換した廃・もみ殻区を設定した。廃菌床区、廃・もみ殻区ともに対照区よりも収量が増加し、廃・もみ殻区では廃菌床区よりも増収効果が大きくなった。

**キーワード:** エノキタケ, 廃菌床, もみ殻, 収量

## Reutilization of corn cob meal-based waste substrate for enokitake sawdust based cultivation

Ayako TAKEDA<sup>1</sup><sup>1</sup>Niigata Prefectural Forest Research Institute

## I はじめに

新潟県は、エノキタケ (*Flammulina velutipes*) 生産量が全国第2位(2)であり、廃菌床の発生量も多い。また、エノキタケは低価格が常態化しているため、常にコスト削減の取り組みが求められている。そこで、大量に出る廃菌床をもう一度エノキタケの菌床培地として再利用できないか検討した。

現在、県内のエノキタケ生産現場では、主に以下の2種類の培地が使用されている。1つは、生産者自らがスギオガ粉主体の基材と栄養材を混合し調整する従来型の培地(以下、従来培地)で、もう1つは、既にコーンコブミール主体の基材と栄養材が混合してあり、生産者は水分調整だけを行う培地(以下、配合培地)である。県内生産量は配合培地の方が多く、廃菌床発生量も多い。本研究では、配合培地の廃菌床を従来培地の基材の一部として再利用し、その影響を調査した。また、廃菌床と同様に、県内で大量に発生するもみ殻を未加工のまま使用し、その利用の可能性も合わせて調査した。

## II 材料と方法

**1. 試験設定** 対照区は、基材として6ヶ月以上屋外堆積した新潟県産スギオガ粉を100%使用し、スギオガ粉の容積比30%を廃菌床に置換した廃菌床区、スギオガ粉の容積比30%を廃菌床に、30%を未加工もみ殻で置換した廃・もみ殻区を設定した。なお、使用した廃菌床は、県内のエノキタケ生産者が自社で発生した廃菌床を再利用するために乾燥処理したもので、試験の約3週間前に入手し、屋内で冷蔵保管していたものである。もみ殻は、かみはやし農業協同組合(新潟県村上市)から試験の約

2ヶ月前に入手し、屋内で常温保管していたもので、コシヒカリを主体に複数品種のもみ殻が混在している。

また、各試験区共通で栄養材として新潟県産米ぬか(かみはやし農業協同組合)を、廃菌床を使用した試験区にはpH調整剤として消石灰(村檜石灰工業株式会社)を乾燥重量の1%相当添加している(表-1)。試験区の含水率は、それぞれ64.61%、64.60%、63.54%である。この含水率をもとに、栽培ビン1本あたりの米ぬかの重量が各試験区で同一となるように充填量を調整し、それぞれ535±10、650±10、620±10gとした。

表-1. 各試験区1ビンあたりの培地組成

	基 材			栄養材 米ぬか	pH調整剤 消石灰	水の 重量	充填量 (g/ビン)
	スギオガ粉	廃菌床	もみ殻				
対照区	100.0			90.0		345.0	535±10
廃菌床区	70.0	69.6		90.0	2.3	418.1	650±10
廃・もみ殻区	40.0	69.6	26.3	90.0	2.3	391.8	620±10

※ 基材、栄養材およびpH調整剤は乾燥重量

廃菌床ともみ殻の重量は、スギオガ粉の容積比30%に相当する

pHは、殺菌後の培地10gに対して水50mLを加え、約5分攪拌した後1時間静置し、その上澄み液をpH計(株式会社佐藤計量器製作所, SK-620PH II)により測定した。pHの値はそれぞれ6.115、6.155、6.080であった。

培地調整後、容積850mL、口径58mmのポリプロピレン製栽培ビンに各試験区の培地を充填し、接種孔1孔を開けて成形した。培地は高圧殺菌(119℃, 60分)し、温度17℃の部屋で一晩放冷したのち供試菌を接種した。

供試菌には、雪ぼうしN-1(新潟県)およびチクマッシュ T-011(株式会社千曲化成)の2品種を用いた。供試体数は、雪ぼうしN-1で各試験区47本、48本、43本、チクマッシュ T-011は、全試験区48本である。

**2. 栽培環境** 接種後、温度  $16 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度  $70 \pm 1\%$  の暗黒下で培養し、28 日目に「ぶっ搔き」による発生処理を行った。発生処理後は、温度  $13 \sim 14^\circ\text{C}$ 、湿度  $95 \sim 97\%$  で子実体の発生を促した。子実体の傘径が 1 mm 程度になり、接種孔がおおむねふさがった時点で発芽が完了したとみなし、温度  $5 \sim 6^\circ\text{C}$  の環境下に移した。子実体がビン口近くまで伸びたら光抑制 (15 分/日  $\times$  2 日間の照射, Max: 1,200 lx) を行い、子実体がビン口より 2~3 cm 程度上まで伸びたらプラスチック製青色有孔巻紙 (高さ 12.5 cm) による紙巻きを行った。なお、発芽完了後は湿度調整 (加湿・除湿) を行わなかったが、栽培室の湿度はおおむね  $80 \sim 90\%$  で推移した。また、全工程を通じて、二酸化炭素濃度は 2,000 ppm 以下だった。

**3. 調査項目** 収穫は、株の半数以上の菌傘が巻紙から出たタイミングとした。収穫した子実体 1 株あたりの生重量 (以下、収量) を 0.1 g 単位で測定し、発生処理日から収穫日までの日数を生育日数として記録した。

**4. 解析方法** 得られたデータのうち、収量について品種ごとに一般化線形モデル (GLM) を用いて解析した。説明変数は培地の種類、応答変数は栽培ビン 1 本あたりの収量である。応答変数は正規分布に従うと仮定し、リンク関数は identity とした。使用した統計解析ソフトは、R version 4.3.0 (R Core Team 2023) である。

### III 結果と考察

収量の結果を表-2 に、GLM の結果を表-3 にそれぞれ示す。スギオガ粉の一部を廃菌床に置換した廃菌床区は、対照区よりも雪ぼうし N-1 で 11.5 g、チクマッシュ T-011 で 11.9 g のプラス効果があり、両品種ともに増収傾向が認められた。さらに、もみ殻も加えた廃・もみ殻区では、対照区よりも雪ぼうし N-1 で 39.5 g、チクマッシュ T-011 で 40.2 g のプラス効果があり、両品種ともに廃菌床区よりも増収効果が大きくなった。

コーンコブミール培地によるエノキタケ栽培では、栄養材だけでなく基材であるコーンコブミールも積極的に利用して子実体を形成していると考えられる(3)。配合培地の廃菌床には、使いきれなかった栄養分が残っている可能性があるほか、コーンコブミールにも増収効果が推察される(3)ため、廃菌床区および廃・もみ殻区のどちらも、対照区より収量が増加したと考えられる。また、山本ら(4)は、長期間加水堆積した使用済み培地の物理性の改善に、もみ殻が有効であるとしている。本研究でも、もみ殻を混合することで培地の空隙率が上がるなどの物理性が変化し、収量に影響を与えた可能性が考えられる。一方、コーンコブミール培地には「菌糸伸長が遅くな

る」という特徴がある(1)ため、配合培地の廃菌床を利用した場合には生育の遅れが懸念される。しかし、廃菌床区および廃・もみ殻区のどちらも、対照区より生育日数は長くならず、負の影響はみられなかった (表-4)。

これらの結果から、エノキタケの配合培地廃菌床は、従来培地のスギオガ粉と容積比 30%置換が可能であり、もみ殻を混合することで増収効果がより大きくなること分かった。なお、今回使用した廃菌床は、乾燥処理をしたものであるため、乾燥していない状態の廃菌床でも同様の結果になるか検討する必要がある。

表-2. 品種および試験区ごとの収量の結果

	雪ぼうしN-1			チクマッシュT-011		
	n	平均値	SD	n	平均値	SD
対照区	47	192.6	5.9	48	204.5	13.8
廃菌床区	48	204.1	12.4	48	216.3	13.8
廃・もみ殻区	43	232.1	9.7	48	244.7	8.6

表-3. 品種および試験区ごとの GLM の結果

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
雪ぼうしN-1				
Intercept	192.581	1.422	135.392	< 2e-16 ***
廃菌床区	11.513	2.001	5.753	5.6e-08 ***
廃・もみ殻区	39.521	2.058	19.206	< 2e-16 ***
チクマッシュT-011				
Intercept	204.498	1.779	114.950	< 2e-16 ***
廃菌床区	11.850	2.516	4.710	5.86e-06 ***
廃・もみ殻区	40.173	2.516	15.970	< 2e-16 ***

\*\*\* は  $p < 0.001$  を示す

表-4. 品種および試験区ごとの生育日数の結果

	雪ぼうしN-1			チクマッシュT-011		
	n	平均値	SD	n	平均値	SD
対照区	47	27.7	0.6	48	29.6	1.1
廃菌床区	48	27.2	0.4	48	28.0	0.5
廃・もみ殻区	43	26.8	0.6	48	27.2	0.6

### 引用文献

- (1) 小山智行 (2014) 施設空調型エノキタケ栽培の最新技術. (改訂版最新きのこ栽培技術. 株式会社特産情報). 165-172
- (2) 農林水産省 (2023) 令和 4 年特用林産物生産統計調査. [https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokuyo\\_rinsan/](https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokuyo_rinsan/) (2023.10.6 参照)
- (3) 城石雅弘・西澤賢一・野崎功一・天野良彦・神田鷹久 (2005) エノキタケの栽培と子実体特性に及ぼす培地成分の影響. *Journal of Applied Glycoscience* 52: 133-136
- (4) 山本秀樹・中村公義・松原喜光 (2001) エノキタケ栽培における使用済み培地の再利用技術. 長野県野菜花き試験場報告 11: 11-16

---

関東森林研究 第75巻

2024年3月31日発行

編集者：「関東森林研究」編集委員会

安部哲人（委員長）、瀧澤英紀、太田祐子、吉村充則、木口 実、杉浦克明、上村真  
由子、小坂 泉、園原和夏、松倉君子

発行者：関東森林学会（会長 有賀一広）

発行所：宇都宮大学農学部森林学科内

関東森林学会事務局

〒321-8505 栃木県宇都宮市峰町 350

---