

森林研究研修センター研究報告 第31号

2009年6月

目 次

形態的特性を持った野生ナメコの商品化 ーもとの交配因子型と異なる白色系ナメコの作出ー	三 河 孝 一	1
メチルイソチオシアネート液化炭酸製剤による カシノナガキクイムシの駆除方法	齊 藤 正 一 中 村 人 史 阿 部 豊 田 畑 勝 洋	14
山形県におけるカツラマルカイガラムシ被害林の 林分構造と更新状況	上 野 満 齊 藤 正 一	23
県産スギ黒心材の耐朽性と利用	福 島 弘 幸 鈴 木 健 治 後 藤 徹 三 河 孝 一 中 村 人 史	31
山形県における花粉症に有効なスギの選抜 ーアレルゲン含量と雄花着生量の測定結果ー	渡 部 公 一 高 橋 裕 一 小野瀬 浩 司 安 部 悦 子 沼 沢 聡 明 會 田 健 最 上 久美子	38
庄内海岸砂丘地におけるニセアカシアの除草剤 による駆除方法	志 斎 和 貴 渡 部 公 一	47

BULLETIN OF THE YAMAGATA PREFECTURAL
FOREST RESEARCH AND INSTRUCTION CENTER No.31

Jun 2009

Contents

The commercialization of a wild <i>Pholiota nameko</i> keeping a distinctive form —The white pholiota nameko making up different mating type from original mating type—	1
Kōichi MIKAWA	
The method of exterminating <i>Platypus qercivorus</i> by methyl isothiocyanate dissolved into liquefied carbon dioxide	1 4
Shōichi SAITO, Hitoshi NAKAMURA, Yutaka ABE Katsuhiko TABATA	
Stand structure and Regeneration of Damaged forest by <i>Cmstockaspis macroporana</i> TAKAGI. in Yamagata Prefecture	2 3
Mitsuru UENO , Shiōchi SAITO	
The durability and utilization of black heart wood of Sugi planted in Yamagata Prefecture	3 1
Hiroyuki FUKUSHIMA , Kenji SUZUKI , Toru GOTO , Kōichi MIKAWA Hitoshi NAKAMURA	
Selection of Japanese Cedar which is effective against pollinosis reduction in Yamagata Prefecture —A measurement of the amount of Pollen allergen and the volume of male flowers—	3 8
Kōichi WATANABE , Yuichi TAKAHASHI , Kōji ONOSE , Etsuko ABE Toshiaki NUMAZAWA , Ken AITA , Kumiko MOGAMI	
Development of control method of <i>Robinia pseudo-acacia</i> L. in Shonai coastal dune region	4 7
Kazuki SHISAI , Kōichi WATANABE	

論文

形態的特性を持った野生ナメコの商品化 —もとの交配因子型と異なる白色系ナメコの作出—

三 河 孝 一

The commercialization of a wild *Pholiota nameko* keeping a distinctive form
—The white *Pholiota nameko* making up different mating type from original mating type—

Kouiti MIKAWA

(2009 年 3 月 17 日受理)

要旨：子実体の生育初期に菌柄が玉状に膨らみ、成熟期にも菌柄が徳利状に太い形態的特性を持った野生ナメコの株取りでの商品化において、孢子飛散により子実体や包装容器等が褐色に塗れるのを防ぐため、見かけ上の防止策として、子実体の白色化を図り、その作出系を提示した。メンデルの法則に従い、既存の白色系ナメコとの交配を経過することにより、目的とする形態的特性を持った白色系ナメコが作出できた。作出した白色系ナメコの孢子は極少で肉眼では見られず、株取りでの商品化への期待が持てる。また、当初原菌として用いた白色系ナメコの交配因子と全く異なる交配因子組成で、目的とした形態的特性やそれ以外の様々な形態的特性を持った山形県産白色ナメコが作出でき、今後これらの商品化にも期待が持てる。

I はじめに

野生ナメコの栽培化においては子実体の形や色などが優れた系統でも、栽培において接種から子実体の収穫までに要する日数（以下、子実体収穫所要日数）が長いなど、栽培特性の改良が必要なものもある。これらの改良には、目的とする形態的特性や栽培特性を有する子実体の孢子由来の一核菌糸や菌株の分生子またはプロトプラスト由来の再生一核菌糸を交配し、その交配株の中から目的とする形態的特性や栽培特性を備えた菌株を選抜する方法が一般に用いられる。

筆者はこれまで、プロトプラスト由来の再生一核菌糸を利用し、子実体の生育初期に菌柄が玉状に膨らみ、成熟期にも菌柄が徳利状に太い形態的特性（以下徳利状の形態的特性）を持っているが、子実体収穫所要日数が長い（接種から第 1 回の収穫終了まで約 120 日、以下同）ため栽培に不適な

野生ナメコを、子実体の菌柄の太さが普通（菌柄の太さ 10mm 以下、以下同）で子実体収穫所要日数が普通（接種から第 1 回の収穫終了まで約 85 日、以下同）の野生ナメコと交配し、菌柄が徳利状の形態的特性を維持しながら、子実体収穫所要日数が普通の栽培特性を持ったナメコに改良した^(1,2,3)。

この改良したナメコは、菌柄が徳利状の形態的特性から新しい品種として位置付けされ、この形態的特性を生かすためには、菌柄を短く切らない株取りで収穫し、その株取りの出荷形態で販売することが望ましいと判断された。また、このナメコは従来のナメコと比較して菌柄のヌルメキが少なく、これまでの定番料理のナメコ汁やナメコおろし一辺倒から、てんぷらや炒め物に使用できるなど、調理の幅が広がるものと期待された。

しかし、この改良したナメコは通常栽培されているナメコに比べて菌柄の生長とともに傘が少し開き易く、孢子の飛散により、株取り収穫時や出

荷時に子実体や包装容器等が褐色に塗れ、それが店頭では消費者からは汚れとして受け取られ兼ねないなどの欠点も見つかり、胞子による褐色の塗れを防ぐため、さらなる改良が必要と考えられた。

この胞子による塗れの改良には、ひとつには傘の開きが遅いナメコとの交配が考えられるが当センターの保存菌株にはこれらの系統はない。もうひとつにはエリンギなどのように紫外線の照射による無胞子化⁽⁴⁾も考えられるものの膨大な検定培養数を要し、子実体への影響も不明である。さらにもうひとつは子実体色が白色系となるものの、メンデルの法則に従って子実体が白色系のナメコ（以下白色系ナメコ）との交配を経過し、目的とする形態的特性を持った白色系ナメコを作出することにより、見かけ上、子実体や包装容器等の塗れを防止することができると考えられるが、ナメコではその作出例がない。

そこで、筆者は、今後の育種での作出系の提示も含めて、見かけ上胞子飛散による褐色の塗れを防ぐため、後者の白色系ナメコの作出を試みた。なお、白色系ナメコの作出にあたっては、当初原菌として交配に用いた白色系ナメコの交配因子と全く異なる交配因子組成での、山形版の白色ナメコの作出も目標とした。

ここでは、これら交配因子と交配因子組成を表示するとともに、白色系ナメコの作出経過と作出した菌株の特性、作出系について報告する。

Ⅱ 研究 方 法

子実体の生育初期に菌柄が玉状に膨らみ、成熟期にも菌柄が徳利状に太い形態的特性（以下徳利状の形態的特性、再掲）を持った子実体色が褐色系のナメコ（以下褐色系ナメコ）1 菌株と、菌柄の太さが普通の形態で子実体色が白色系のナメコ（以下白色系ナメコ、再掲）1 菌株、菌柄の太さが普通で形態の子実体色が濃褐色系のナメコ（以下濃褐色系ナメコ）1 菌株を原菌とし、これらの菌株から得たプロトプラスト由来の再生一核菌糸（各交配因子 1 菌株）を供試した。

まず、菌柄が徳利状の形態的特性を持つ褐色系ナメコと、菌柄の太さが普通の白色系ナメコの再生一核菌糸を交配し、栽培により発生した子実体から、胞子由来の一核菌糸群を得た。次に、この胞子由来の一核菌糸群を白色系ナメコの再生一核菌糸ともどし交配し、栽培により発生した子実体

の子実体色を判別し、白色系の表現型を持つ胞子由来の一核菌糸群を得た。これらの白色系の表現型の胞子由来の一核菌糸同士を交配し、栽培により発生した菌柄の調査から、菌柄が徳利状の形態的特性を持った白色系ナメコを選抜した。

さらに、白色系の表現型を持つ胞子由来の一核菌糸群は、濃褐色系のナメコの再生一核菌糸と交配し、栽培により発生した子実体から胞子由来の一核菌糸群を得た。この胞子由来一核菌糸群は白色系ナメコの再生一核菌糸と交配し、栽培により発生した子実体の子実体色を判別し、白色系の表現型を持つ胞子由来の一核菌糸群を得た。これらを交配し、当初原菌として交配に用いた白色系ナメコの交配因子と全く異なる交配因子組成を持った白色系ナメコを作出した。

また、これら白色系ナメコの作出系について、交配因子等の表現型を表示し、図に示した。

なお、ナメコの交配因子は有田ら⁽⁵⁾が 2 極性であることを報告しており、交配因子の表記は有田ら⁽⁵⁾に準じた。

1. 目的とする白色系ナメコの作出に用いた菌株

1) 原菌

子実体の菌柄が徳利状の形態的特性を持っているが、子実体収穫所要日数が長い褐色系野生ナメコ（以下褐色系菌株 P_1 、交配因子組成： A^1A^2 、形態：菌柄形徳利状・子実体色褐色、栽培特性：子実体収穫所要日数約 120 日）と、菌柄の太さが普通で子実体収穫所要日数が普通の市販の白色系ナメコ（以下白色系菌株 P_2 、青森県登録品種初雪たけ、交配因子組成： A^3A^4 、形態：菌柄形普通・子実体色白色、栽培特性：子実体収穫所要日数約 85 日）と、菌柄の太さが普通で子実体収穫所要日数が普通の濃褐色系野生ナメコ（以下濃褐色系菌株 P_3 、交配因子組成： A^5A^6 、形態：菌柄形普通・子実体色濃褐色、栽培特性：子実体収穫所要日数約 85 日）の 3 菌株を用いた。

2) 再生一核菌糸

褐色系菌株 P_1 、白色系菌株 P_2 、濃褐色系菌株 P_3 の各々の二核菌糸をプロトプラスト化し、再生一核菌糸群 $\underline{m}P_1$ 、 $\underline{m}P_2$ 、 $\underline{m}P_3$ を作出した。これらの再生一核菌糸群の交配因子 A^1 、 A^2 、 A^3 、 A^4 、 A^5 、 A^6 を判別後、任意に各交配因子の再生一核菌糸を 1 株選定、供試した。なお、これら再生一核菌糸の作出方法は山形県森林研究研修センター研究報告⁽²⁾に報告している。

3) 再生一核菌系の特性（表現型）の確認

選定した再生一核菌系は、褐色系菌株 P_1 、白色系菌株 P_2 、濃褐色系菌株 P_3 のそれぞれの交配因子組成で交配（以下交配は正逆（6）なしの接触部）し、交配株 P_1 （交配因子組成： A^1A^2 ）、交配株 P_2 （交配因子組成： A^3A^4 ）、交配株 P_3 （交配因子組成： A^5A^6 ）を作成、原菌 3 菌株とともにビン栽培（800cc ビン、おが粉培地 550 g 詰め、60 日間 20℃ 培養後、60 日間 15℃ 発生処理、以下ビン栽培）で子実体を発生させ、菌柄の形態や子実体色および子実体収穫所要日数の調査から、原菌と交配株の特性を比較し、作出した再生一核菌系が原菌の特性（表現型）を受け継いでいるかを確認した。

2. 菌柄の徳利状の形態的特性を持った白色系ナメコの作出

1) 孢子分離用の交配株の選定

菌柄が徳利状の形態的特性を持つ褐色系菌株 P_1 の再生一核菌系（交配因子： A^1 、 A^2 ）と普通の形態との白色系菌株 P_2 の再生一核菌系（交配因子： A^3 、 A^4 ）の交配株（交配因子組成： A^1A^2 、 A^2A^3 、 A^2A^4 、 A^3A^4 、4 交配株： F_{1-1} 、 F_{1-2} 、 F_{1-3} 、 F_{1-4} 、以下交配株 F_1 ）を作成、ビン栽培で子実体を発生させ、菌柄の形態と子実体収穫所要日数を調査し、菌柄が徳利状に太くなる形態的特性を持ち、子実体収穫所要日数が普通で栽培に適することを基準に、孢子分離用の交配株 F_{1-3} を選定した。

2) 孢子由来一核菌系の交配因子の判別

選定した交配株 F_{1-3} （交配因子組成： A^2A^3 ）の子実体から孢子を分離培養し、孢子由来の一核菌系群（以下 mF_{1-3} ）を得た。孢子由来一核菌系 mF_{1-3} はそれぞれ交配し、クランプの有無により、交配因子 A^2 、 A^3 を判別した。

3) 孢子由来一核菌系の菌柄形と子実体色の表現型の判別

判別した孢子由来一核菌系 mF_{1-3} の交配因子 A^2 は白色系菌株 P_2 の再生一核菌系の交配因子 A^3 とのまじり交配株（交配因子組成： A^2A^3 、以下まじり交配株 B_{1-1} ）を作成、ビン栽培で子実体を発生させ、菌柄形と子実体色の調査結果から、孢子由来一核菌系の表現型を推察した。また、孢子由来一核菌系 mF_{1-3} の交配因子 A^3 は白色系菌株 P_2 の再生一核菌系の交配因子 A^4 とまじり交配株（交配因子組成： A^3A^4 、以下まじり交配株 B_{1-2} ）を作成、ビン栽培で子実体を発生させ、子実体色のみの調査結果から、孢子由来一核菌系の表現型を推察した。

これらの結果から、菌柄が徳利状の表現型や普通の表現型を持ち、子実体色が白色系の表現型の孢子由来一核菌系（以下 wmF_{1-3} ）を得た。

4) 菌柄が徳利状の形態的特性を持った白色系ナメコの作出

任意に選抜した、菌柄の形態的特性が様々な表現型で子実体色が白色系の表現型の孢子由来一核菌系 wmF_{1-3} の交配因子 A^2 と、菌柄の形態的特性が不明であるが白色系の表現型の孢子由来一核菌系 wmF_{1-3} の交配因子 A^3 と、交配株（以下交配株 F_2 ）を作成、ビン栽培で子実体を発生させ、菌柄の形態や子実体色、子実体収穫所要日数の調査結果から、目的とした菌柄が徳利状の形態的特性を持った白色系ナメコを選抜した。

3. もとの交配因子型と全く異なる白色系ナメコの作出

1) 孢子分離用の交配株

2の3)の、孢子由来の一核菌系 wmF_{1-3} の中から、交配型因子が A^2 で子実体収穫所要日数が普通で、また見かけ上菌柄の形態が普通の表現型と菌柄が徳利状に太い形態的特性の表現型の一核菌系を任意に選定し、濃褐色系菌株 P_3 の再生一核菌系（交配因子 A^5 、 A^6 ）と交配した。交配株（交配因子組成： A^2A^5 、 A^2A^6 、以下交配株 G_1 ）はビン栽培で子実体の菌柄形や子実体色を調査するとともに、それぞれ孢子分離用の交配株 G_1 とした。

2) 孢子由来一核菌系の交配因子の判別

交配株 G_1 の子実体から孢子を分離培養し、孢子由来一核菌系（以下 mG_1 群）を得た。孢子由来一核菌系 mG_1 はそれぞれ交配し、クランプの有無により、交配因子 A^2 、 A^5 、 A^6 を判別した。

3) 孢子由来一核菌系の白色系表現型の選抜

判別した孢子由来一核菌系 mG_1 の交配因子 A^2 、 A^5 、 A^6 は、白色系菌株 P_2 の再生一核菌系の交配因子 A^3 との交配株（交配因子組成： A^2A^3 、 A^3A^5 、 A^3A^6 、以下交配株 B_2 ）を作成、ビン栽培で子実体を発生させ、菌柄の形態と子実体色から孢子由来一核菌系の表現型を推察した。表現型を推察した孢子由来一核菌系 mG_1 の中から、任意に見かけ上菌柄の様々な形態で子実体色が白色系の孢子由来一核菌系（以下 wmG_1 ）を数株選抜した。

表-1 原菌と同一交配因子組成による再生一核菌系交配株の特性（表現型）

原菌と 交配株	交配因子組成 ^{*1}	子実体色	菌柄形		発生本数	落下胞子紋色	子実体収穫 所要日数
			生育初期	成熟時			
P ₁	A ¹ A ²	褐色	玉状 ^{*2}	徳利状 ^{*3}	極少 ^{*4}	褐色	長い ^{*7}
P ₁	A ¹ A ²	褐色	玉状	徳利状	極少	褐色	長い
P ₂	A ³ A ⁴	白色	普通	普通	普通 ^{*5}	無色 ^{*6}	普通 ^{*8}
P ₂	A ³ A ⁴	白色	普通	普通	普通	無色	普通
P ₃	A ⁵ A ⁶	濃褐色	普通	普通	普通	褐色	やや早
P ₃	A ⁵ A ⁶	濃褐色	普通	普通	普通	褐色	やや早

*¹: 正逆なし。*²: 菌柄がそろ盤玉状。*³: 菌柄が徳利状、菌柄が太く、最大最小径比約 2 倍。*⁴: 1 ビン数本。

*⁵: 1 ビン 20 本以下。*⁶: 極少、可視的無色。*⁷: 収穫所要日数約 120 日。*⁸: 収穫所要日数約 90 日。

表-2 褐色系菌株 P₁ と白色系菌株 P₂ の再生一核菌系の交配株 F₁ の特性（表現型）

交配株	交配因子組成 ^{*1}	子実体色	菌柄形		発生本数	落下胞子紋色	子実体収穫 所要日数
			生育初期	成熟時			
P ₁	A ¹ A ²	褐色	玉状 ^{*2}	徳利状 ^{*3}	極少 ^{*4}	褐色	長い ^{*7}
F ₁	F ₁₋₁	A ¹ A ³	玉状	徳利状	極少	褐色	長い
	F ₁₋₂	A ¹ A ⁴	玉状	徳利状	極少	褐色	長い
	F ₁₋₃	A ² A ³	玉状	徳利状	やや少 ^{*5}	褐色	普通 ^{*8}
	F ₁₋₄	A ² A ⁴	玉状	徳利状	やや少	褐色	普通
P ₂	A ³ A ⁴	白色	普通	普通	普通	無色 ^{*6}	普通

*¹: 正逆なし。*²: 菌柄がそろ盤玉状。*³: 徳利状、菌柄が太く、最大最小径比約 2 倍。*⁴: 1 ビン数本。

*⁵: 1 ビン 20 本以下。*⁶: 極少、可視的無色。*⁷: 収穫所要日数約 120 日。*⁸: 収穫所要日数約 90 日。

4) もとの白色系ナメコ（白色系菌株 P₂）と全く異なる交配因子による白色ナメコの作出

任意に選抜した見かけ上菌柄の形態が様々な白色系の表現型の胞子由来一核菌系 wmG₁ の交配因子 A²、A⁵、A⁶ 間での交配株（以下交配株 G₂）を作成、当初原菌として交配に用いた白色系ナメコ（白色系菌株 P₂）と全く異なる交配因子による山形版の白色ナメコを作出した。これら山形版の白色系ナメコはビン栽培し、発生した子実体の菌柄の形態や子実体色、子実体収穫所要日数を調査し、栽培適正を判断した。

4. 白色系ナメコの作出系の作成

これら一連の白色系ナメコの作出系について、原菌や交配株、子実体の形態的特性や子実体色、交配因子や交配因子組成、また一核菌系の子実体色や推定した菌柄の表現型を表示し、図に示した。

Ⅲ 結 果 と 考 察

1. 目的とする白色ナメコの作出に用いた菌株

1) 再生一核菌系の特性（表現型）の確認

表-1 に、原菌 3 菌株と同一交配因子組成による再生一核菌系交配株 3 菌株の特性（表現型）を示した。

再生一核菌系の同一交配因子組成による交配株 P₁、交配株 P₂、交配株 P₃ は、子実体色や菌柄の形態、発生本数、胞子紋色、子実体発生所要日数ともに、原菌の褐色系菌株 P₁、白色系菌株 P₂、濃褐色系菌株 P₃ の表現型と同じで、目的とする白色系ナメコの作出に用いる再生一核菌系の表現型は、原菌それぞれの表現型を受け継いでいると判断された。

2. 菌柄が徳利状の形態的特性を持った白色系ナメコの作出

1) 孢子分離用の交配株の選定

表-2 に、菌柄が徳利状の形態的特性を持つ褐色系菌株 P_1 の再生一核菌糸と白色系菌株 P_2 の再生

は普通の菌柄形の表現型に対して優勢であると考えられた。また、交配株 F_1 の子実体色はすべて褐色系であることから、有田ら⁽⁷⁾ のヒラタケの白色遺伝子と同様、ナメコの白色系の表現型は褐色系の表現型に対して劣性であると考えられた。

**表-3 交配株 F_{1-3} の孢子由来一核菌糸 mF_{1-3} の交配因子の判別ならびに
もどし交配株 B_{1-1} 、 B_{1-2} の子実体の菌柄形と子実体色の表現型**

単位：菌株

胞子由来一核菌糸 mF ₁₋₃		白色系菌株 P ₂ の再生一核菌糸の交配因子 A ³ とのもどし交配株 B ₁₋₁ の表現型			
交配因子	判別数* ¹	菌柄形* ²	判別数	子実体色	判別数
A ²	31	徳利状* ³	19	褐色	09
				白色	10
		普通	12	褐色	06
				白色	06
mF ₁₋₃ 群		白色系菌株 P ₂ の交配因子 A ⁴ 再生一核菌糸とのもどし交配 B ₁₋₂ の表現型			
A ³	25	未調査* ⁴	18	褐色	10
				白色	08
		未発生* ⁵	07	不明	07
計	56		56		56

^{*1}： mF_1 の相互交配によるクランプの有無判定。^{*2}：生育初期の菌柄観察。^{*3}：生育初期の菌柄はそろ盤玉状、成熟時の菌柄の太さは多様。^{*4}：原基生育時子実体色のみ観察。^{*5}：発生処理 60 日間で子実体未発生。

一核菌糸との交配株 F_1 の特性(表現型)を示した。

孢子分離用の交配株の選定基準となる子実体の菌柄の形態的特性では、交配株 F_1 のすべてが、生育初期には玉状で成熟期には菌柄が徳利状に太くなる形態的特性を持ち、その基準を満たした。また、子実体収穫所要日数では、交配株 F_{1-1} と交配株 F_{1-2} が所要日数が長く栽培に適さず、交配株 F_{1-3} と交配株 F_{1-4} が所要日数が普通で栽培に適し、この 2 交配株が子実体収穫所要日数での孢子分離用の交配株の選定基準を満たした。この結果、菌柄形と子実体収穫所要日数の選定基準から交配株 F_{1-3} と交配株 F_{1-4} が孢子分離用の交配株の候補となったが、子実体収穫所要日数が若干早い(未発表)交配株 F_{1-3} (交配因子組成： A^2A^3) を孢子分離用交配株に選定した。

選定基準以外の特性調査では、子実体色では交配株 F_{1-1} と交配株 F_{1-2} が褐色系、交配株 F_{1-3} と交配株 F_{1-4} は黄褐色系、また発生本数では交配株 F_{1-1} と交配株 F_{1-2} が極少、交配株 F_{1-3} と交配株 F_{1-4} がやや少と、再生一核菌糸の親株やその中間の表現型を示した。

なお、交配株 F_1 のすべての菌柄が徳利状の形態的特性を示したことから、徳利状の菌柄の表現型

2) 孢子由来一核菌糸の交配因子の判別

表-3 に、交配株 F_{1-3} の孢子由来一核菌糸 mF_{1-3} の交配因子の判別結果を示した。

孢子由来一核菌糸 mF_{1-3} の交配因子 A^2 と交配因子 A^3 の比率は 31 : 25 と理論値の約 1 : 1 を示し、容易に、交配株 F_{1-3} を組成するそれぞれの交配因子が得られた。なお、孢子由来一核菌糸 mF_{1-3} 間の交配ではいずれもクランプの有無が明瞭で、有田ら⁽⁸⁾ と同様、2 極性を示した(未発表)。

3) 孢子由来 1 核菌糸の菌柄形と子実体色の表現型の判別

表-3 に、孢子由来一核菌糸 mF_{1-3} と白色系菌株 P_2 の再生一核菌糸とのもどし交配株 B_{1-1} 、 B_{1-2} の菌柄の表現型と子実体色の表現型を示した。

2 の 1) の孢子分離用の交配株の選定において菌柄が徳利状の表現型は菌柄が普通の表現型に対して優勢であると考えられることから、交配株の菌柄が徳利状の形態的特性を持てば、交配に用いた一核菌糸のどちらかが菌柄が徳利状の表現型を持つと推察される。表-3 のもどし交配に用いた白色系菌株 P_2 の再生一核菌糸(交配因子 A^3 、 A^4)は、表-1 の交配株 P_2 の特性調査の結果から菌柄が普通の表現型と考えられることから、もどし交配株

B₁₋₁ の菌柄が徳利状になれば交配に用いた孢子由来一核菌糸 mF₁₋₃ は菌柄が徳利状の表現型を持つことになる。もどし交配株 B₁₋₁ の菌柄の調査結果では、菌柄が徳利状の表現型と菌柄が普通の表現型が 19 対 12 となり、容易に、菌柄が徳利状の孢子由来一核菌糸 mF₁₋₃ の交配因子 A³ が得られたこ

とになる。なお、もどし交配株 B₁₋₂ では子実体の菌柄の形態の調査はしなかった。

また、同様に **2 の 1)** の孢子分離用の交配株の選定においてナメコの子実体色の白色系の表現型は褐色系の表現型に対して劣勢であると考えられることから、白色系の表現型の一核菌糸同士の交配でなければ、交配株の子実体色は白色系とならない。表-3 のもどし交配株 B₁₋₁ は白色系菌株 P₂ の再生一核菌糸の交配因子 A³ との交配であり、子実体色が白色系となれば、交配因子 A² の孢子由来一核菌糸 mF₁₋₃ は白色系の表現型と推察される。子実体色の調査結果では、子実体の菌柄が徳利状の表現型では褐色の表現型と白色系の表現型が 9 : 10、菌柄が普通の表現型では褐色の表現型と白色系の表現型が 6 : 6 となり、容易に、菌柄が徳利状や普通の太さの表現型を持った、子実体色が白色系の表現型の孢子由来一核菌糸 mF₁₋₃ の交配因子 A² (再掲 wmF₁₋₃) が得られたことになる。また、もどし交配株 B₁₋₂ の子実体色の調査結果でも、褐色の表現型と白色系の表現型が 10 : 8 となり、容易に、白色系の表現型の孢子由来一核菌糸 mF₁₋₃ の交配因子 A³ (再掲 wmF₁₋₃) が得られたことになる。これら白色系の表現型の孢子由来一核菌糸 mF₁₋₃ の中から、菌柄形の表現型をもとに任意に

選抜して、菌柄が徳利状の形態特性を持った白色系ナメコの作出に用いた。

なお、もどし交配株 B₁₋₁、B₁₋₂ の子実体色は、交配因子 A²、交配因子 A³ とともに褐色の表現型と白色系の表現型が約 1:1 となり、理論上の比率を示した。

4) 菌柄が徳利状の形態特性を持った白色系ナメコの作出

表-4 に、任意に選抜した、子実体色が白色系の表現型の孢子由来一核菌糸 wmF₁₋₃ 同士の、交配株 F₂ の特性 (表現型) を示した。

菌柄が普通の表現型の孢子由来一核菌糸 wmF₁₋₃ の交配因子 A²-15、17、20 と、菌柄形の表現型が不明な孢子由来一核菌糸 wmF₁₋₃ の交配因子 A³-29 との交配株 F₂ は、菌柄が普通の表現型で、子実体収穫所要日数は長い表現型と普通の表現型となった。また、菌柄が普通の表現型の孢子由来一核菌糸 wmF₁₋₃ の交配因子 A²-15、17、20 と菌柄形の表現型が不明な孢子由来一核菌糸 wmF₁₋₃ の交配因子 A³-31 との交配 F₂ では、すべてが菌柄が徳利状の表現型で、子実体収穫所要日数が普通の表現型となった。菌柄が徳利状の表現型の孢子由来一核菌糸 wmF₁ の交配因子 A²-14、25、28、35、54 と、菌柄形の表現型が不明な孢子由来一核菌糸の wmF₁ の交配因子 A³-29、A³-31 との交配株 F₂ は、すべてが菌柄が徳利状の形態的特性を持ち、子実体収穫所要日数では普通の表現型や長い表現型をとった。これらの結果から、栽培が容易で、目的とした菌柄が徳利状の形態的特性を持った白色系ナメコを選抜した。

なお、**2 の 1)** の孢子分離用の交配株の選定において菌柄が徳利状の表現型は菌柄が普通の表現型に対して優勢であると考えられることから、交配株

表-4 子実体色が白色系の表現型の孢子由来一核菌糸 wmF₁₋₃ 同士の交配株 F₂ の特性 (表現型)

孢子由来一核菌糸 wmF ₁₋₃				交配因子 A ² -							
				菌柄が普通形の表現型			菌柄が徳利状の表現型				
				15* ¹	17	20	14	25	28	35	54
交配因子 A ³ -	菌柄形表現型不明	29	菌柄形* ²	普通	普通	普通	徳利状* ³	徳利状	-* ⁴	徳利状	徳利状
			子実体色	白色	白色	白色	白色	白色	-	白色	白色
			栽培* ⁵	長い* ⁶	普通* ⁷	普通	長い	長い	-	普通	普通
		31	菌柄形	徳利状	徳利状	徳利状	徳利状	徳利状	徳利状	徳利状	徳利状
			子実体色	白色	白色	白色	白色	白色	白色	白色	白色
			栽培	普通	普通	普通	普通	普通	長い	普通	普通

*¹ : 数字は孢子由来一核菌糸 wmF₁₋₃ の番号、孢子由来一核菌糸の交配因子 A²-15。 *² : 菌柄の形状。

*³ : 菌柄がそろ盤玉状、成熟時の菌柄の太さは多様。。 *⁴ : 発生操作 60 日間未発生。

*⁵ : 子実体収穫所要日数。 *⁶ : 収穫所要日数約 120 日。 *⁷ : 収穫所要日数約 90 日。

F₂の菌柄形の表現型によって、菌柄形の表現型が不明な孢子由来一核菌糸 wmF₁₋₃でもその表現型を推察できる。菌柄が普通の表現型の孢子由来一核菌糸 wmF₁の交配因子 A²-15、17、20 と交配因子 A³-29 との交配株 F₂の菌柄は普通の表現型で、また交配因子 A³-31 との交配株 F₂の菌柄は徳利状の表現型となったことから、表-4 の孢子由来一核菌糸 wmF₁の交配因子 A³-29 の菌柄の表現型は普通、交配因子 A³-31

の菌柄の表現型は徳利状であると推察される。

3. もとの交配因子型と全く異なる白色系ナメコの作出

1) 孢子分離用の交配株

表-3 のもとし交配で菌柄の表現型が明らかとなった子実体色が白色系の孢子由来一核菌糸 wmF₁の中から、菌柄が普通の表現型の交配型因子 A²を3菌株 (wmF₁₋₃-A²-15、-17、-20) と、菌柄が徳利

表-5 交配株 G₁の孢子由来一核菌糸 mG₁の交配因子の判別ならびに交配株 B₂の特性(表現型) 単位: 菌株

G ₁	mG ₁		白色系菌株 P ₂ の交配因子 A ³ との交配株 B ₂		菌柄形
	交配因子	判別数	子実体色	判別数	
G ₁ -1-15*	A ⁵	10	褐色	7	普通
			白色	3	
	A ²	4	褐色	3	
			白色	1	
G ₁ -1-17*	A ⁵	6	褐色	2	普通
			白色	4	
	A ²	21	褐色	11	
			白色	10	
G ₁ -1-20*	A ⁵	12	褐色	9	普通と徳利状 ^{*1}
			白色	3	
	A ²	12	褐色	4	
			白色	8	
G ₁ -1-54*	A ⁵	4	褐色	2	普通と徳利状 (一般に徳利状)
			白色	2	
	A ²	12	褐色	9	
			白色	3	
G ₁ -2-17*	A ⁶	05	褐色	3	普通
			白色	2	
	A ²	07	褐色	6	
			白色	1	
G ₁ -2-20*	A ⁶	02	褐色	2	普通と徳利状
			白色	0	
	A ²	07	褐色	5	
			白色	2	
G ₁ -2-54*	A ⁶	07	褐色	4	普通 (一般に徳利状)
			白色	3	
	A ²	12	褐色	6	
			白色	6	

G₁-1-15* : wmF₁の孢子由来交配因子 A²-15 × P₃の交配因子 A⁵の再生一核菌糸。 G₁-1-17* : wmF₁の孢子由来交配因子 A²-17 × P₃の交配因子 A⁵の再生一核菌糸。 G₁-1-20* : wmF₁の孢子由来交配因子 A²-20 × P₃の交配因子 A⁵の再生一核菌糸。 G₁-1-54* : wmF₁の孢子由来交配因子 A²-54 × P₃の交配因子 A⁵の再生一核菌糸。 G₁-2-17* : wmF₁の孢子由来交配因子 A²-17 × P₃の交配因子 A⁶の再生一核菌糸。 G₁-2-20* : wmF₁の孢子由来交配因子 A²-20 × P₃の交配因子 A⁶の再生一核菌糸。 G₁-2-54* : wmF₁の孢子由来交配因子 A²-54 × P₃の交配因子 A⁶の再生一核菌糸。 ^{*1} : 生育初期に菌柄がそろ盤玉状、成熟期に徳利状。

状に太い（以下徳利状の形態的特性、再掲）表現型の交配型因子 A^2 を 1 菌株 ($wmF_{1-3}-A^2-54$) 任意に選定し、これらの菌株と濃褐色系菌株 P_3 の再生一核菌糸（交配因子 A^5 、 A^6 ）との交配株 G_1 （前掲）を作成、胞子分離用の交配株とした。

2) 胞子由来一核菌糸の交配因子の判別

表-5 に、交配株 G_1 の胞子由来一核菌糸 mG_1 （前掲）の交配因子の判別結果を示した。

胞子由来一核菌糸 mG_1 の交配因子は、各交配株 G_1 の違いはあるが、交配因子 A^2 、 A^5 、 A^6 とも容易に得られた。なお、各交配株 G_1 から得られた交配因子 A^2 、 A^5 、 A^6 の判別数の相違はシャーレからの分離数によるものと考えられ、数多く分離すれば理論値の 1 : 1 を示すものと考えられる。

3) 胞子由来一核菌糸の白色系表現型の選抜

表-5 に、交配株 G_1 の胞子由来一核菌糸 mG_1 と白色系菌株 P_2 の再生一核菌糸の交配因子 A^3 との交配株 B^2 の子実体色と菌柄の表現型を示した。

前述のとおり、ナメコの子実体色の白色系の表現型は褐色系の表現型に対して劣勢であると考えられることから、白色系の表現型の一核菌糸同士の交配でなければ、交配株の子実体色は白色系とされない。表-5 の交配株 B_2 は白色系菌株 P_2 の再生一核菌糸の交配因子 A^3 との交配であり、子実体色が白色系となれば、交配因子 A^2 、 A^5 、 A^6 の胞子由来一核菌糸 mG_1 は白色系の表現型と推察される。子実体色の調査結果では、交配株 B_2 はそれぞれ判別数に違いはあるものの白色系の表現型が得られ、容易に、交配因子 A^2 、 A^5 、 A^6 とも白色系

の表現型の胞子由来一核菌糸 mG_1 (wmG_1 、前掲) が得られことになる。なお、交配因子 A^2 、 A^5 、 A^6 の白色系の表現型の判別数の違いはシャーレからの分離数によるものと考えられ、数多く分離すれば理論値の 1 : 1 を示すと考えられる。

また、前述のとおり、菌柄が徳利状の表現型は菌柄が普通の表現型に対して優勢であると考えられることから、交配株の菌柄が徳利状の形態的特性を持てば、交配に用いた一核菌糸のどちらかが菌柄が徳利状の表現型を持つと推察される。表-5 の交配に用いた白色系菌株 P_2 の再生一核菌糸（交配因子 A^3 ）は、表-1 の交配株 P_2 の特性調査の結果から菌柄が普通の表現型と考えられることから、交配株 B_2 の菌柄が徳利状になれば交配に用いた胞子由来一核菌糸 mG_1 は菌柄が徳利状の表現型を持つことになる。交配株 B_2 の調査結果では、数株の菌柄が徳利状の表現型となり、これらから菌柄が徳利状の表現型を持った胞子由来一核菌糸 mG_1 が得られたことになる。

これらの結果から、子実体色が白色系の表現型の胞子由来一核菌糸 wmG_1 の交配因子 A^2 は菌柄が普通の表現型を 5 菌株 ($mG_1-A^2-1-15-26$ 、 $1-17-14$ 、 $1-17-24$ 、 $1-17-25$)、菌柄が徳利状の表現型を 1 菌株 ($mG_1-A^2-1-20-16$)、また胞子由来一核菌糸 mG_1 の交配因子 A^5 は菌柄が普通の表現型を 1 菌株 ($mG_1-A^5-1-17-22$)、菌柄が徳利状の表現型を 3 菌株 ($mG_1-A^5-1-20-27$ 、 $1-54-08$ 、 $1-54-10$)、胞子由来一核菌糸 mG_1 の交配因子 A^6

表-6 交配株 G_1 の胞子由来一核菌糸 wmG_1 同士の交配株 G_2 の特性（表現型）

F ₁₋₃		二核菌糸				A ² (徳利状* ¹) × A ³ (普通* ²)										
褐色	色	一核菌糸				A ² (wmF ₁)										
		wmF ₁ (mF ₁ の白色系)				-1-15	-1-17		-1-20		-1-54					
						普通	普通		普通		徳利状					
		褐色	色	G ₁	二核菌糸		× A ⁵ (普通), A ⁶ (普通)									
					wmG ₁ (mG ₁ の白色系)	一核菌糸		A ² (wmG ₁)						A ⁶		
						1-15-26	1-17-14	1-17-24	1-17-25	1-20-16	1-54-02	2-54-16				
A ² (徳利) × A ³ (普通)		A ² (wmF ₁)		-1-17	普通	× A ⁵ (普通), A ⁶ (普通)	A ⁵	1-17-22	普通	普通	普通	普通	-* ³	普通	普通	
				-1-20				1-20-27	徳利状	徳利状	普通	徳利状	徳利状	徳利状	徳利状	徳利状
				-1-54	徳利状			1-54-08	徳利状	普通	普通	徳利状	普通	徳利状	普通	-* ¹²
								1-54-10	徳利状	徳利状	徳利状	徳利状	徳利状	徳利状	普通	-
						A ⁶	2-54-16	普通	徳利状	徳利状	徳利状	徳利状	徳利状	徳利状		

*¹: 生育初期に菌柄がそろ盤玉状、成熟期に徳利状。*²: 菌柄形が普通。*³: 発生操作 60 日間未発生。

は菌柄が普通の表現型を1菌株 ($mG_1-A^6-2-54-16$) 任意に選抜した。

4) もとの白色系ナメコ(白色系菌株 P_2) と全く異なる交配因子による白色ナメコの作出

表-6に、任意に選定した、交配株 G_1 の孢子由来一核菌糸 wmG 同士の交配株 G_2 の特性(表現型)を示した。

交配して得られた交配株 G_2 は3交配株を除き、ビン栽培で通常の子実体が発生し、もとの白色系ナメコ(白色系菌株 P_2) と全く異なる交配因子による白色ナメコが作出できた。

なお、表-6の交配に用いた wmG_1 の菌柄の表現型を表-5の菌柄形から推定して普通や徳利状と示したが、菌柄が普通の表現型の $wmG_1-A^6-2-54-16$ と菌柄が普通の表現型の $wmG_1-A^2-1-15-26$ の交配株 F_2 は菌柄が徳利状の表現型を示し、また菌柄が徳利状の表現型の $wmG_1-A^5-1-20-27$ と菌柄が普通の表現型の $wmG_1-A^2-1-17-14$ は菌柄が普通の表現型を示すなど、交配株 F_2 の菌柄は多様な表現型を示した。これは、前者は当初交配した菌柄が徳利状の表現型が発現したものと考えられ、また後者は交配の繰り返しにより原菌の菌柄の表現型の優勢が弱くなったものと考えられ、今後目的とする菌柄の表現型を得るためには、交配に用いる菌株の形質の情報管理や交配の繰り返しに配慮する必要がある(8)。また、交配株 F_2 の子実体色には見られなかったが、交配株 G_2 の子実体色の中には若干くすんだ白色系の子実体が見られた。これは交配に用いた濃褐色系 P_3 の影響や交配の繰り返しなどの影響も考えられ、今後、白色系ナメコの作出系の再検討も必要である。

4. 白色系ナメコ作出系の作成

これら一連の白色系ナメコの作出系について、原菌や交配株、子実体の菌柄の形態的特性や子実体色、交配因子や交配因子組成、また一核菌糸の子実体色や推定した菌柄形の表現型を、Ⅲの研究Ⅲ方法やⅣの結果と考察に対応して表示し、図-1、図-2に示した。

Ⅳ あ と が き

子実体の生育初期に菌柄が玉状に膨らみ、成熟期にも菌柄が徳利状に太い形態的特性を持った野生ナメコの株取りでの商品化において、孢子飛散により子実体や包装容器等が褐色に塗れるのを防

ぐため、見かけ上の防止策として、菌柄の形態的特性を持った白色系ナメコを作出した。また、当初原菌としてに用いた白色系ナメコの交配因子と全く異なる交配因子組成で、山形県版の白色ナメコが作出でき、これらの商品化にも期待が持てる。

Ⅴ 引 用 文 献

- (1) 三河孝一(1999) 形態的特徴の異なるナメコの再生一核菌糸の交配例. 東北森林講要 4: 52
- (2) 三河孝一(2000) プロトプラストによる一核菌糸をを利用したきのこの交配例. 山形県森研セ研報 28: 28-29
- (3) 三河孝一(2004) 形態的特徴の異なるナメコの再生一核菌糸の交配例Ⅱ. 東北森林講要 9: 38
- (4) 小島靖(2002) きのこの新品種開発. 奈良県森林技術センター業務報告 平成13年度: 8
- (5) 有田郁夫ら(1962) ナメコの交配系. 菌蕈研究所研究報告 2: 8
- (6) 衣川堅二郎(1990) きのこの遺伝と育種、築地書館 38
- (7) 有田郁夫(1974) ヒラタケ白色子実体の遺伝. 菌蕈研究所研究報告 11: 66
- (8) 三河孝一(2007) もとの交配因子組成と異なる白色系ナメコの作出Ⅱ. 東北森林講要 12: 50

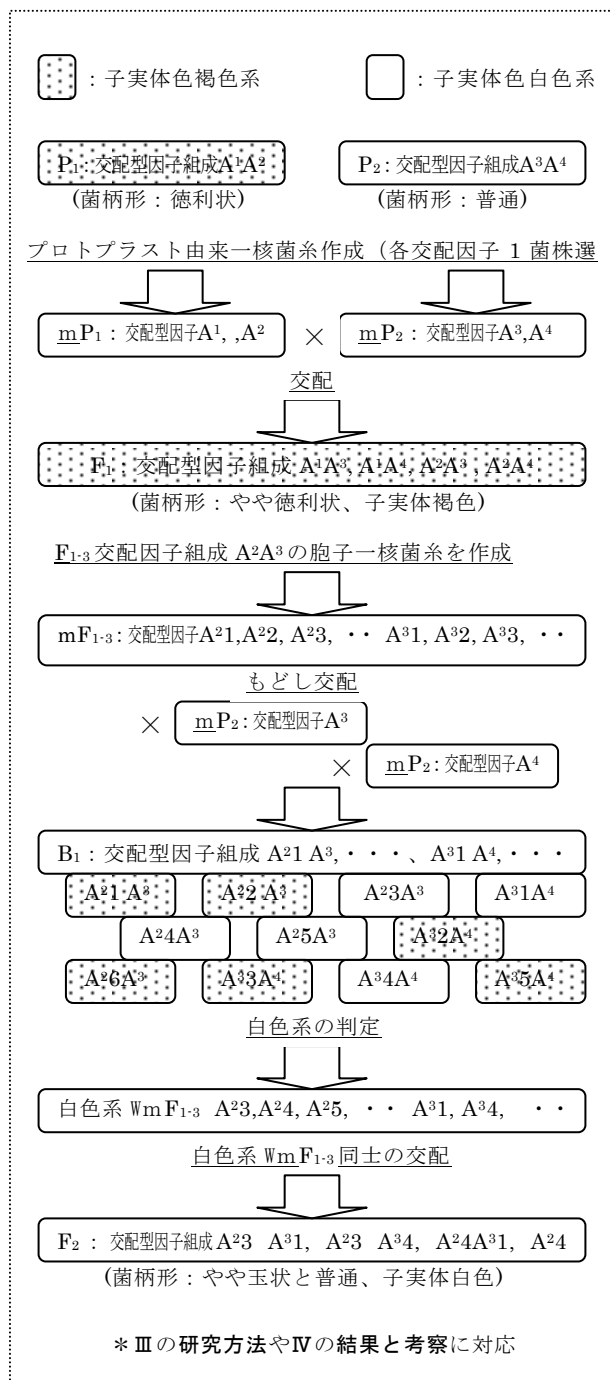


図-1 作出系-1

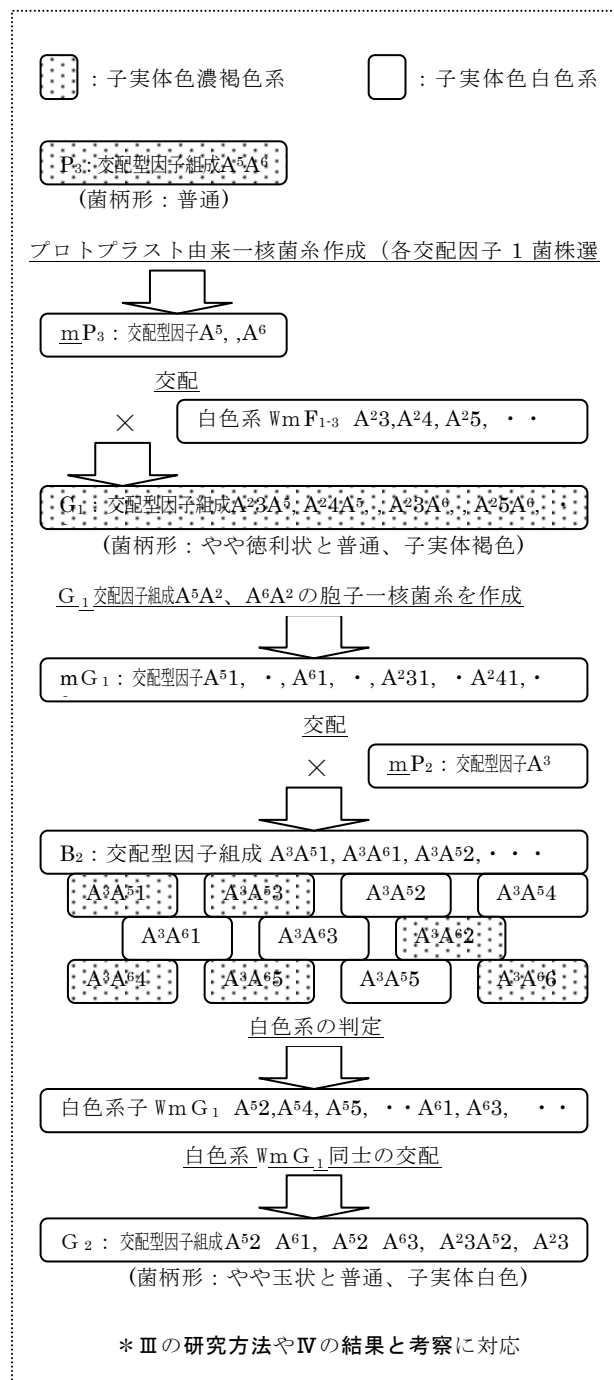


図-2 作出系-2



写真-1 褐色系菌株 P_1



写真-2 褐色系菌株 P_1



写真-3 褐色系菌株 P_1



写真-4 白色系菌株 P_2



写真-5 白色系菌株 P_2

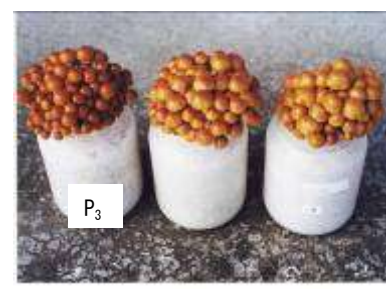


写真-6 濃褐色系菌株 P_3



写真-7 濃褐色系菌株 P_3

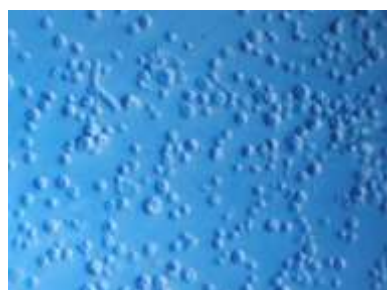


写真-8 プロトプラスト

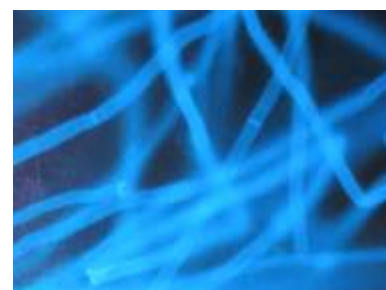


写真-9 再生一核菌糸



写真-10 ニ核菌糸 (クランプ、
交配因子の判別、
交配株の確認)

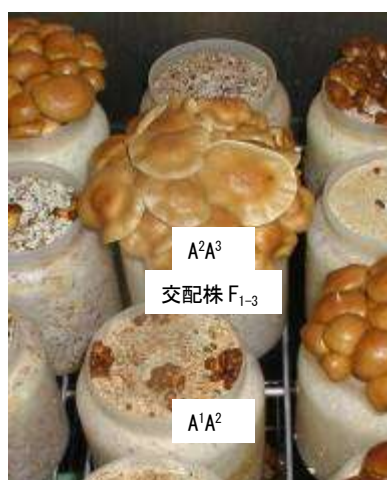


写真-11 交配株 F_1 ($\underline{m}P_1 \times \underline{m}P_2$)



写真-12 交配株 F_1 ($\underline{m}P_1 \times \underline{m}P_2$)



写真-13 もどし交配株 B_1 ($mF_{1-3} \times mP_2$)



写真-14 もどし交配株 B_1 (白色系)



写真-15 もどし交配株 B_1 (褐色系)



写真-16 もどし交配株 B_1 (褐色系)



写真-17 交配株 F_2 ($wmF_{1-3} \times wmF_{1-3}$)



写真-18 交配株 F_2 (白色系)



写真-19 交配株 F_2 (白色系)



写真-20 交配株 F_2 (白色系)



写真-21 交配株 G_1 ($wmF_{1-3} \times mP_3$)



写真-22 交配株 G_1 (褐色系)



写真-23 交配株 G_1 (褐色系)



写真-24 交配株 B_2 (白色系、褐色系)



写真-25 交配株 G_2 ($wmG_1 \times wmG_1$)



写真-26 交配株 G_2 (左上同)



写真-27 交配株 G_2 (左上同)



写真-28 交配株 G_2



写真-29 交配株 G_2 (左二段同)



写真-30 交配株 G_2



写真-31 交配株 G_2 (右二段同)



写真-32 交配株 G_2 (現地栽培試験)



写真-33 交配株 G_2 (現地栽培試験)



写真-34 交配株 G_2 (現地栽培試験)



写真-35 交配株 G_2 (現地栽培試験)



写真-36 交配株 G_2 (現地栽培試験)

論文

メチルイソチオシアネート液化炭酸製剤による カシノナガキクイムシの駆除方法

斉藤 正一*・中村 人史*・阿部 豊**・田畑 勝洋***

The method of exterminating *Platypus quercivorus* by methyl isothiocyanate
dissolved into liquefied carbon dioxide

Shoichi Saito*・Hitoshi Nakamura*・Yutaka Abe**・Katsuhiro Tabata***

(2009年4月17日受理)

要旨：ナラ類集団枯損被害における枯死木の有効な伐倒駆除薬剤処理方法を検討するため、30%メチルイソチオシアネート液化炭酸製剤（ヤシマ産業製エコヒューム、以下MITC剤）を使用した試験を段階的に実施した。

処理方法は、ナラ類集団枯損被害により枯死したミズナラを伐採し、樹幹と伐根を生分解性シートやビニールシートにより天幕被覆した後、MITC剤を被覆内に投薬した。その結果、カシナガの殺虫率は、MITCガス濃度を農薬登録している180g/m³の2倍量にあたる360g/m³とすれば、処理2週後に約90%以上、1ヵ月後には約100%になることが明らかになったメチルイソチオシアネート（以下MITC）には殺菌効果があり、被覆内においては、ナラ菌等がMITCで殺菌されて結果として殺虫率が極めて高くなったと考えられた。以上のことから、ナラ類集団枯損被害の既往の駆除方法ではカシノナガキクイムシの殺虫率は90%であったが、本方法により約100%殺虫の伐倒くん蒸が可能になった。

I は じ め に

ミズナラを主としたナラ類の集団枯損被害（ブナ科樹木萎凋病：以下ナラ枯れ）は、1990年以降、日本海側を中心に発生している。2006年の被害地域は山口県から秋田県まで連続しており、拡大増加傾向にあって終息のめどはいまだにたっていない。

ナラ類の集団枯損被害は、カシノナガキクイムシ（*Platypus quercivorus*、以下カシナガ）が健全なナラ類に穿入する際に樹幹内に持ち込む*Raffaelea quercivora*（以下ナラ菌）の病原性により枯死がおこることが明らかになっている（伊藤ら 1998, Kubono, T. and Ito, S

（2002））。

ナラ枯れ被害の駆除にあたっては、感染環のうちナラ菌を媒介するカシナガの殺虫が最も適していると判断された。そこで、枯死立木に対して地際部の樹幹にドリルで薬剤注入孔をあけ、ヤシマ産業製NCSくん蒸剤を注入することで樹幹内のカシナガの約90%を殺虫することができ、ナラ菌の分散抑制を図る安全な技術が開発され、事業化された（斉藤ら 1999, 2000）。また、予防方法としては、未被害木をシートで被覆したり（小林・萩田, 2003）、樹幹に接着剤等を散布してカシナガの穿入を物理的に妨害する方法が開発されている（斉藤, 2003a, 2005）。省力的な新たな予防方法としては健全木に防

* 山形県森林研究研修センター、**ヤシマ産業株式会社、*** 岐阜県立森林文化アカデミー

カビ剤を樹幹注入をしてナラ菌の樹幹内での伸張抑制と共生関係にある穿入したカシナガの殺虫が可能な方法も開発された（斉藤，2006）。

しかし，開発された駆除方法は樹幹下部のみを薬剤等で処理してカシナガを殺虫するので，樹幹内の水分条件によっては樹幹上部にもカシナガが相当数生息するため地上1.5mまでの本駆除法は限界がある。また，カシナガの密度が高い地域や被害先端地においてはより100%に近い殺虫率で駆除する方法についての要望が強くなっている。そこで，筆者らは枯死木の伐倒駆除による100%の殺虫率に近付ける駆除方法について，殺虫・殺菌剤を炭酸ガスで噴出するボンベノズルタイプのMITC剤を使用して検討したので報告する。

Ⅱ 材 料 と 方 法

1. 供試薬剤

本試験で使用した薬剤は，ヤシマ産業製エコヒューム（経口毒性：劇物，魚毒性B類）である。本薬剤は，液化炭酸にメチルイソチオシアネート（methyl isothiocyanate = MITC； $\text{CH}_3\text{-N}=\text{C}=\text{S}$ ）を30%溶解させた製剤で，高压ガス容器（ボンベ）に充填されている。投薬されたMITCは速やかにガス化し，くん蒸効果を発揮するので，臭化メチルの代替薬剤などとして，その使用方法が農業分野でも検討されていた（田代，2005）。ボンベの総重量は約8Kgで運搬は容易である。投薬は天幕被覆した木材に対して，天幕に小さな切れ目を入れガンノズルから噴射して行うため，作業者がガス被爆されることなく，安全・簡便な方法で使用が可能である。

2. 立木の伐採と丸太等の調整

ナラ類集団枯損被害によって枯死したミズナラを地上約50cmで伐採し，樹幹部については1m単位で玉切りした。薬剤処理に供した丸太は樹幹からカシナガのフラスが噴出しているもの全てとした（地上0～13m程度の樹幹）。

処理する丸太と伐根の調整として，MITCガスが効果的に作用するよう，樹幹に対してチェーンソーのバーがもぐる程度のノコ目（深さ5.5cm）を斜めに入れた。ノコ目の溝は丸太の元口

径が30cm以上の場合は左右に各3本，30cm未満は一方に3本とした。伐根については，山側に立ち，左右に各3本のノコ目を同様に斜めに入れた。

3. 被覆資材及び被覆方法

被覆資材は，実用場面を想定して生分解性シート「大倉工業(株)製生分解性 ちゅらシート（以下生分解性シート）」または「東罐興産(株)製ビニール性 バリアスター（以下ビニールシート）」を使用した。丸太や伐根の被覆方法は，丸太は約1m³になるようにはい積みし，シートをかけて覆い，ガス漏れがないようにシートの裾を溝に入れ十分土で埋め戻した。伐根についても同様に，切り残した位置（存地）でシートをかけて覆い，ガス漏れがないようにした。

ガスの投薬量は，被覆内の材積に応じて決まるので，天幕被覆の被覆容積をメジャーで測定し，被覆内の供試材料の材積を約0.8と決めて，被覆内容積は次式によって求めた（日本くん蒸協会（2002））。・被覆内容積＝縦寸法平均値×横寸法平均値×最大高値×0.8

4. 投薬方法

投薬前に薬剤噴射ノズルに付属する圧力計で吐出量（g/秒）を確認した（表－1）。次に，はい積み上部の丸太の木口面に接する被覆シート部位にカッターナイフで約3cmの切れ目を入れて投薬口とし，そこに噴射ノズルを差し込み，所定の時間ガスを被覆内に噴射した。投薬後は投薬口をガムテープでガス漏れを防いだ。

表－1 MITC投薬量換算表

圧力 (kg/cm ²)	温度 (°C)	ガス吐出量 (g/sec) (g/min)	
35	5	5.3	320
40	10	5.9	355
45	15	6.5	390
50	20	7.1	426
55	25	7.7	460

5. 試験時期及び試験区

試験は被害現地の森林内での実証試験とし、枯死したミズナラを対象に薬剤処理を段階的に実施した。2004年秋季（9月29日）は、MITCガス濃度の違いによる殺虫率の比較（以下ガス濃

度試験）、2005年春季（5月24日）は、被覆シートの違いによる殺虫率の比較（以下被覆資材試験）、2005年秋季（9月21日）は春季と同様の条件による殺虫率の再現性（以下再現性試験）について検討した（表－2）。

表－2 試験地の概要

試験時期	試験地	林齢	林況	被害経過
2004年 秋季	山形県鶴岡市 湯野浜地内 (1.32ha)	約50年	クロマツ(D28.6cm, H16m)が高木層を形成する海岸林で、亜高木層にミズナラ、クリ、カシワ(D19.1cm, H10m)が生育している。	被害は2003年から発生し林内のミズナラ3本が枯死し、伐倒粉碎処理された。2004年にはミズナラ10本が枯死した。
2005年 春季	山形県鶴岡市 西荒屋地内 (0.46ha)	約40年	ミズナラとコナラ(D15.2cm, H13m)高木層を形成する広葉樹二次林で、低木層はユキツバキに覆われている。	被害は2002年から発生し林内のミズナラが枯死した。2002年3本, 2003年4本, 2004年10本であり、枯死木は放置されていた。
2005年 秋季	山形県酒田市 飯森山地内 (0.95ha)	約55年	クロマツ(D32.4cm, H19m)が高木層を形成する海岸林で、亜高木層にミズナラ、コナラ(D26.9cm, H13m)が生育している。	被害は2004年から発生し林内のミズナラ4本が枯死し、枯死木はNCS立木処理された。2005年夏季には林内のミズナラ5本が枯死した。

ナラ類集団枯損被害の枯死木に対する投薬量の設定は既往登録農薬エコヒューム（登録番号：20502）のMITCガス180g/m³を基準にした。

各試験時期における試験区は表－3に詳細を示した。ガス濃度試験ではガス濃度を段階的に変えて、180、360、720、1,300g/m³と無処理とした。被覆資材試験は、生分解性シートとビニールシートを用い、ガス濃度を180、360g/m³および無処理とした。再現性の試験は、生分解性シートによりガス濃度を360g/m³および無処理として実施した。

6. 被覆内のMITCガス濃度の測定

2004年秋季のガス濃度試験時と2005年春季の資材試験時において、MITCガス濃度の測定を実施した。方法は、直径約5mmのシリコンチューブをはい積み丸太、伐根の中央部に配管して、被覆シートの外部に出してガス採取口とし、ガ

スサンプリング時以外はピンチコックでガス漏れがないように塞いだ。ガス採取は注射器で100cc吸入して、その場で5cc容量のガラス製褐色遮光瓶の70%エタノールに溶解させ密封した。採取時間は、2004年秋季は、投薬直後、1時間後、18時間後、2週間後とし、2005年春季は、投薬直後、1時間後、3時間後、24時間後、1週間後とした。検体は、ガスクロマトグラフ（検出器 FID:GC14B 島津製作所製）を用いてMITCガス濃度（g/m³）を測定した。

また、無処理区の被覆内に「おんどとりRH」（ティアンドディ社製）を用いて、被覆から1～2週間後まで被覆内の温度を自動計測した。

7. 殺虫・殺菌効果の調査

殺虫効果の確認は処理した樹幹や伐根から採取した円盤の割材によって行った。2週間後にシートの裾を開けて、ガス処理した各被覆につ

いて、樹幹（丸太）は任意に選んだ丸太や伐根の中央部から厚さ10cm程度の円盤を3枚以上切り出して現地で割材した(2004年秋季は10月13日，2005年春季は6月8日，2005年秋季は10月12日)。割材により，カシナガの成虫・幼虫の生死をカウントし殺虫率を算出した。

その後のカシナガの殺虫効果にも着目して，2004年秋季のガス濃度試験では，新成虫が羽化脱出する前の7ヵ月後の2005年5月2日，2005年春季の被覆資材試験では，新成虫脱出時にあたる処理1ヵ月後の2005年6月22日，2005年秋季の再現性試験では，処理1ヵ月後の2005年10月24日に同様の方法で割材により殺虫率を求めた。

MITCはナラ菌を殺菌することが分かっているので（斉藤ら，1999），ナラ菌の殺菌状況については，2004年秋季のガス濃度試験と2005年春季の被覆資材試験の割材時の円盤の辺材8点から1cm四方の材片を採取して，材片試料は表面殺菌後，個別にシャーレ内のPDA培地にのせ20℃で7日間培養し，ナラ菌の有無を確認した（斉藤ら，2001）。

Ⅲ 結果及び考察

1. 投薬処理した被覆の容積比とガス濃度

2004年秋季のガス濃度試験における各試験区の被覆内容積は0.34～1.92m³であり，実投薬量は180g/m³では，111～346 g，360g/m³では122～497 g，720g/m³では922 g，1300g/m³では390～1278gで，被覆の大きさと被覆内の容積に応じてガス濃度が一定になるよう噴出時間を表－1の換算表を使用して調節した。

各試験区の被覆内でのMITCガス濃度の変化は，1時間後では180g/ m³投薬で3.68～4.13g/m³，360g/ m³投薬で4.26～4.75g/m³，720g/ m³投薬で5.27g/m³，1300g/ m³投薬で7.21/m³へと投薬量に応じて減少し，18時間後は当初のガス濃度や処理部位に関わらず0.32～0.98g/m³とさらに減少して，2週間後にはガスを検知できなかった（表－3）。なお，2週間の覆内の温度は最高が30.7℃，最低が10.7℃，平均18.9℃であった。

表－3 設定した試験区

試験時期	試験内容	処理日	割材調査	試験区		
				呼び名	ガス濃度	シート
2004年秋季	ガス濃度別の殺虫率の比較	2004. 9.29	2週後	180g/m ³	180g/m ³	生分解性
			2004.10.13	360	360	〃
				720	720	〃
			7ヶ月後	1300	1300	〃
			2005. 5. 2	無処理	—	〃
2005年春季	シートと濃度別の殺虫率の比較	2005. 5.24	2週後	T 1	180g/m ³	生分解性
			2005. 6. 8	T 2	360	〃
				T 3	—	〃
			1ヶ月後	B 1	180g/m ³	ビニール
			2005. 6.22	B 2	360	〃
				B 3	—	〃
2005年秋季	殺虫率の再現性の確認	2005. 9.21	2週後 2005.10.12	A 1	360g/m ³	生分解性
			1ヶ月後 2005.10.24	A 2	—	〃

2005年春季における各試験区の被覆内容積は0.44～0.70m³であり、全て360g/m³投薬とした実投薬量はちゅら生分解性区で158～220g/m³、ビニール区では252g/m³であり、ガス濃度が一定になるよう噴出時間を表－1の換算表を使用して調節したところ、噴出後のボンベの重量は規定値であった。

各試験区の被覆内でのMITCガス濃度の変化は、各試験区とも360g/m³投薬したが、1時間後ではシートの種類や処理した部位に関わらず4.33～4.83g/m³と減少し、3時間後は2.60～2.94 g/m³、24時間後は0.90～2.85 g/m³、1週間後には0.14～0.48 g/m³に減少した（表－4）。なお、1週間の覆内の温度は最高が28.9℃、最低が9.7℃、平均17.1℃であった。

液化炭酸製剤として被覆内で噴射されるMITCガスは、噴射後1時間で90%以上が急激に被覆内の伐根や丸太に収着され、約2週間後には被覆内に残存しないことが明らかになった。また、ガスの減少傾向は伐根や樹幹という処理する部位や、シートによっても大きな違いがないことも明らかになった。

2. ガス濃度の違いによるカシナガの殺虫率の比較

MITC製剤は、被覆内のガス濃度を180g/m³で丸太をくん蒸殺虫する農薬登録をしている。こ

れは、輸入丸太などのくん蒸殺虫に際して、地面がコンクリートかアスファルトなど比較的条件の良い状態でのガスくん蒸を想定している。しかし、ナラ類集団枯損被害は林地で発生しており、多孔質な表層土壌である林地が施工場所になることから、供試材へのガス吸着が効率的に行われるか不明であるために、既往の農薬登録のガス濃度180 g /m³を基準として、2倍量（360g/m³）、4倍量（720g/m³）、約7倍量（1300g/m³）として殺虫効果を試験した。

カシナガの殺虫効果については、円盤を割材した結果、処理2週間におけるカシナガの平均殺虫率は、既往登録の180g/m³では27.5±2.2%（平均値±95%信頼幅 以下同様）、2倍量の360g/m³で89.2±1.8%、4倍量の720g/m³で95.6±2.0%、約7倍量の1300g/m³では100%であった。なお、無処理区では自然死亡個体があったが死亡率は0.3±0.4%で材内のカシナガは大多数が生存していた（表－5）。

処理2週後の結果から、MITC製剤処理は、MITCガス濃度が高くなると殺虫率が高くなる傾向があり、農薬登録しているガス濃度の2倍量（360g/m³）以上であれば、90%程度の殺虫率が期待できる可能性があることが示唆された。また、処理2週後に割材調査のため、被覆を解除したところ、ガス処理した試験区は木口がきれいであったが、無処理区の

表－4 投薬後のMITCガス濃度の推移

調査時期	試験区	シート	被覆容積 (m3)	実投薬量 (g)	ガス濃度 (g/m3)				
					直 後	1時間後	18時間後	2週後	
2004年 秋季	180-(1)	生分解性	0.62	111	180	3.68	0.52	0	
	180-(2)	〃	1.92	346	180	4.13	0.48	0	
	360-(1)	〃	0.34	122	360	4.75	0.32	0	
	360-(2)	〃	1.38	497	360	4.26	0.61	0	
	720	〃	1.28	922	720	5.27	0.84	0	
	1300	〃	0.98	1278	1300	7.21	0.98	0	
調査時期	試験区	シート	被覆容積 (m3)	実投薬量 (g)	ガス濃度 (g/m3)				
					直 後	1時間後	3時間後	24時間後	1週間後
2005年 春季	T1-(1)	生分解性	0.61	220	360	4.83	2.60	1.91	0.46
	T1-(2)	〃	0.44	158	360	4.79	2.91	0.90	0.14
	B1	ビニール	0.70	252	360	4.33	2.94	2.85	0.48

表－５ MITCガス濃度の違いによるカシナガの殺虫率の比較

調査 時期	試験 区	採取円盤			カシナガの生死						カシナガ				単離された					
		供試 数	平均 直径	平均 厚さ	幼虫			成虫			合計		の死亡率		菌 類 の					
					生存	死亡	計	生存	死亡	計	生存	死亡	計	平均	95%	検出率(%)				
																(cm)	(cm)	(個体数)	(個体数)	(個体数)
処 理	180	5	27.4	11.2	1148	412	1560	36	37	73	1184	449	1633	27.5	2.2	25.0	12.5	12.5		
	360	8	27.5	9.3	108	899	1007	9	70	79	117	969	1086	89.2	1.8	12.5	0	0		
	2週後	720	4	24.0	12.2	18	369	387	0	23	23	18	392	410	95.6	2.0	0	0	0	
	1300	3	20.4	7.2	0	233	233	0	20	20	0	243	243	100	—	0	0	0		
	無処理	2	20.6	9.7	680	2	682	17	0	17	697	2	699	0.3	0.4	100	0	0		
処 理	180	3	33.9	6.5	100	286	386	0	43	43	100	329	429	76.7	4.0	12.5	75.0	12.5		
	360	5	30.8	6.1	0	314	314	9	62	71	9	376	385	100	—	0	75.0	25.0		
	7ヶ月後	720	2	26.5	6.0	0	97	97	0	20	20	0	117	117	100	—	0	87.5	12.5	
	1300	3	21.9	7.4	0	171	171	0	30	30	0	201	201	100	—	0	100	0		
	無処理	2	23.2	6.9	153	50	203	9	10	19	162	60	222	27.0	5.8	75.0	12.5	12.5		

木口面にはナラ菌をはじめ多数の発菌が認められた。MITCガスはナラ菌の殺菌効果があることを確認しているが（斉藤ら1999），カシナガはナラ菌等と共生して生活しており，ナラ菌等が殺菌できれば処理2週後でも生存していたカシナガは時間の経過とともに死亡すると判断された。

そこで，カシナガが羽化脱出する約1ヶ月前の処理7ヵ月後に被覆内から円盤を取り割材調査した。カシナガの平均殺虫率は，既往登録の180g/m³では76.7±4.0%，2倍量の360g/m³，4倍量の720g/m³，約7倍量の1300g/m³では全て100%であった。なお，無処理区では自然死亡個体が死亡率は27.0±5.8%で材内のカシナガの多数が生存していた（表－5）。処理材の木口面は，ガス処理した試験区ではトリコデルマが繁殖しカシナガの虫屑は無かったが，無処理区ではナラ菌をはじめ多数の発菌が認められ，カシナガの虫屑も確認された。

一方，円盤から採取した材片のナラ菌の検出率は，処理2週後は処理区で0～25%，無処理区で100%であり，7ヶ月後は処理区で0～12.5%(360g/m³以上は0%)でトリコデルマの検出率が75%以上と非常に高かったのに対して，無処理区で75%であり，MITC製剤の殺菌効果確認された（表－5）。以上の結果から，カシナガの殺虫に関する効果的なガス濃度は360g/m³であると

考えられた。

3. 被覆用シートの違いによるカシナガの殺虫率の比較

2004年秋季試験でカシナガ殺虫に効果的なガス濃度は，360g/m³であることが明らかになった。しかし，この結果は生分解性シートによる天幕被覆のみで得られたものであり，異なるシートの利用で少ないガス濃度によってカシナガの効果的な殺虫が可能になるかもしれない。

そこで，ガス濃度は既往登録の180g/m³と2倍量の360g/m³とし，天幕被覆シートを生分解性シートとビニールシートを使用した試験を実施した。なお，ビニールシートは合成樹脂なので実際の事業実施にあたっては回収コストがかかることになる。

カシナガの殺虫効果については，円盤を割材した結果，処理2週後におけるカシナガの平均殺虫率は，生分解性シート被覆の場合，既往登録の180g/m³では88.6±5.6%，2倍量の360g/m³で95.2±2.9%であり，無処理区では自然死亡個体の死亡率が14.2±6.4%であった。一方，ビニールシート被覆の場合は，180g/m³では76.9±8.7%，2倍量の360g/m³で90.2±7.5%であり，無処理区では自然死亡個体の死亡率が9.2±5.2%であった。2004年秋季同様に処理2週後で360g/m³のガス濃度であれば，シートの種類に関係なくカシナガ

の殺虫率が90%を超えた。さらに、カシナガが羽化脱出する直前にあたる処理1ヵ月後に被覆内から円盤を取り割材調査した。カシナガの平均殺虫率は、生分解性シート被覆の場合、既往登録の180g/m³では90.5±5.1%, 2倍量の360g/m³で100%であり、無処理区では自然死亡個体の死亡率が20.7±6.6%であった。ビニールシート被覆の場合は、180g/m³では89.4±4.8%, 2倍量の360g/m³で100%であり、無処理区では自然死亡個体の死亡率が17.0±7.2%であった（表－6）。

また、処理材の木口面は、ガス処理した試験区ではトリコデルマが繁殖しはじめておりカシナガの虫屑は無かったが、無処理区ではナラ菌をはじめ多数の発菌が認められ、カシナガの虫屑も確認された。一方、円盤から採取した材片のナラ菌の検出率は、処理2週後は処理区で0～12.5%, 無処理区で100%であった。また、1ヶ月後においても処理区で0～12.5%であり、ナラ菌の検出率は極めて低く、360g/m³では全くナラ菌は検出されなかつた。

表－6 シートの種類とMITCガス濃度の違いによるカシナガの殺虫率の比較

調査 時期	試験 区	採取円盤				カシナガの生死						カシナガ			単離された菌類						
		ガス濃度 シート	供試 数	直径 (cm)	平均 厚さ (cm)	幼虫			成虫			合計			の死亡率		検出率 (%)				
						生存	死亡	計	生存	死亡	計	生存	死亡	計	平均	95% 幅±	菌	デ ^o ルマ	ナラ 他	トリコ	その
処 理 区 2 週 後	T 1	180g/m3	3	18.6	6.8	14	94	108	0	15	15	14	109	123	88.6	5.6	12.5	0	0		
	生分解																				
	T 2	360g/m3	4	23.4	7.7	10	177	187	0	22	22	10	199	209	95.2	2.9	12.5	12.5	0		
	生分解																				
	T 3	無処理	3	17.3	8.2	83	14	97	14	2	16	97	16	113	14.2	6.4	100	0	0		
	生分解																				
	B 1	180g/m3	4	12.5	7.6	21	48	69	0	22	22	21	70	91	76.9	8.7	12.5	75.0	12.5		
	ビ ^o ニール																				
	B 2	180g/m3	3	13.6	8.6	6	41	47	0	14	14	6	55	61	90.2	7.5	0	75.0	25.0		
	ビ ^o ニール																				
	B 3	無処理	3	22.5	10.5	97	9	106	8	2	10	105	11	116	9.2	5.2	75.0	12.5	12.5		
	ビ ^o ニール																				
処 理 区 1 ヶ 月 後	T 1	180g/m3	3	18.4	15.2	12	99	111	0	16	16	12	115	127	90.5	5.1	12.5	75.0	12.5		
	生分解																				
	T 2	360g/m3	4	20.1	8.7	0	157	157	0	17	17	0	174	174	100	—	0	75.0	25.0		
	生分解																				
	T 3	無処理	3	19.5	7.5	97	25	122	18	5	23	115	30	145	20.7	6.6	100	0	0		
	生分解																				
	B 1	180g/m3	4	20.1	7.5	17	121	138	0	23	23	17	144	161	89.4	4.8	12.5	75.0	12.5		
	ビ ^o ニール																				
	B 2	180g/m3	2	18.6	8.0	0	88	88	0	15	15	0	103	103	100	—	0	75.0	0		
	ビ ^o ニール																				
	B 3	無処理	3	22.6	10.9	72	14	86	11	3	14	83	17	100	17.3	7.2	75.0	12.5	12.5		
	ビ ^o ニール																				

表－7 秋季処理によるカシナガの殺虫率の再現性

調査 時期	試験 区	区分 ガス濃度 シート	採取円盤			カシナガの生死						カシナガの 死亡率				
			供試 数	平均 直径	平均 厚さ	幼虫			成虫			合計			死亡率	
						生存	死亡	計	生存	死亡	計	生存	死亡	計		
				(cm)	(cm)	(個体数)			(個体数)			(個体数)			(%)	95% 幅 ±
処理 2週 後	A 1	360g/m3 生分解	4	23.4	7.7	10	177	187	0	22	22	10	199	209	95.2	2.9
	A 2	無処理 生分解	3	17.3	8.2	83	14	97	14	2	16	97	16	113	14.2	6.4
処理 1ヵ月 後	A 1	360g/m3 生分解	3	13.6	8.6	6	41	47	0	14	14	6	55	61	90.2	7.5
	A 2	無処理 生分解	3	22.5	10.5	97	9	106	8	2	10	105	11	116	9.2	5.2

った。しかし、シートの違いや薬剤処理の別にかかわらずトリコデルマの検出率は75%以上と非常に高かった。一方、無処理区ではナラ菌の検出率が75%であり、2004年秋季のMITCガス濃度試験同様にMITC製剤の殺菌効果が認められた（表－6）。

このように、羽化脱出直前の時期において、ガス濃度が180g/m³ではカシナガの完全殺虫は不可能であるが、360g/m³では処理1ヵ月後にはシートの種類に関係なく、カシナガを100%殺虫できることが明らかになった。

4. MITCガス濃度360g/m³、生分解性シート被覆処理での殺虫効果の再現性確認

2005年春季までの試験により、投薬するガス濃度は360g/m³にすれば、生分解性シートの被覆で効果的なカシナガの殺虫が可能であることが明らかになった。そこで、秋季にこの条件下で枯死木の処理をして、同様の殺虫効果が得られるか再現性の確認した。

カシナガの殺虫効果については、円盤を割材した結果、処理2週後におけるカシナガの平均殺虫率は、90.5±2.5%であり、無処理区では自然死亡個体の死亡率が9.5±3.9%であった。これまでの結果と同様に処理2週後で360g/m³のガス濃度であれば、カシナガの殺虫率が90%を超えた。また、処理1ヵ月後に被覆内から円盤を取り出し割材調査した。カシナガの平均殺虫率は、処理区は100%で

あり、無処理区では自然死亡個体の死亡率が12.1±4.5%であった（表－7）。そして、処理材の木口面については、ガス処理した試験区ではトリコデルマが繁殖しはじめておりカシナガの虫屑は無かったが、無処理区ではナラ菌をはじめ多数の発菌が認められ、カシナガの虫屑も確認された。

ナラ類集団枯損被害の枯死木の駆除方法については、枯死木に注入孔をあけてNCSを注入することで約90%のカシナガ殺虫効果があった（斉藤，1999・2000）。しかし、今回の試験結果から、天幕被覆したナラ類枯死木の丸太や伐根の駆除は、MITC製剤の投薬ガス濃度を360g/m³とすれば、処理1ヵ月後にはカシナガを100%殺虫できることが再現され、確実な駆除技術として認められた。

なお、本試験全てにおいてMITCガスが供試材に効果的に行き渡るよう、丸太や伐根にチェーンソーでノコ目をつけたが、ノコ目の溝はカシナガの孔道を横断するか接触する数が、平均9.6個（95%信頼区間7.5～13.8個）であり、カシナガの孔道にMITCガスが効果的に到達している可能性が高いものと考えられた。

IV まとめと今後の課題

ナラ類集団枯損被害における枯死木の有効な伐倒駆除薬剤処理方法を検討するため、MITC製

剤を使用した試験を2004年秋季, 2005年春季, 2005年秋季の3期に渡って段階的に実施した。

ナラ類集団枯損被害により枯死したミズナラを伐採し, 樹幹はいり積み, 伐根は存地で生分解性シートやビニールシートにより天幕被覆した後, MITC製剤によりMITC入りの炭酸ガスを被覆内に投棄した。この際, MITC入り炭酸ガスが供試材に効果的に作用するようチェーンソーでノコ目を入れた。

その結果, カシナガの殺虫率は, MITCガス濃度を農薬登録している180g/m³の2倍量にあたる360g/m³とすれば, 処理2週後に約90%以上, 1ヵ月後には100%になることが明らかになった。被覆内においては, 供試材の木口面の観察とナラ菌の分離では, 薬剤処理区ではナラ菌が認められないことから, 被覆をそのまま放置することで材内の環境がナラ菌等にとって悪化すると考えられ, 結果的にはMITCガス濃度を360g/m³で殺虫率が100%になったものと考えられる。

MITC製剤は, MITC入り炭酸ガス噴射による投棄処理になることから, 作業にあたっては, 作業者の事故防止のためマスクや手袋, 保護具を確実に装着する必要がある。また, 高圧ガスを噴射するため天幕被覆するシートの裾は確実に土壤内に埋め込むとともに, シートの破れなどは被覆用の粘着テープ(布製のガムテープ)などで確実に補修してから作業するように注意すべきである。なお, 使用するシートは回収の手間を省く意味から生分解性シートが多く活用されると思うが, 最低でも1ヶ月は破壊や分解が起らない物理的に強い製品を使用すべきである。

本駆除方法の完成によってカシナガの密度が高い地域や被害先端地域での100%殺虫による駆除が可能となることから, いち早く農薬登録の適応拡大を行い, 事業実施が可能な体制を作る必要がある。

V 引 用 文 献

- (1) 伊藤進一郎・窪野高德・佐橋憲生・山田利博 (1998) ナラ類集団枯損被害に関する菌類. 日本林学会誌 80 : 170-175.

- (2) 小林正秀・萩田 実 (2003) カシノナガキクイムシのビニールシート被覆による防除法. 森林防疫 52 : 137-147.
- (3) Kubono, T. and Ito, S. (2002) *Raffaelea quercivora* sp. nov. associated with mass mortality of Japanese Oak, and the ambrosia beetle (*Platypus quercivorus*). *Mycoscience* 43 : 255-260.
- (4) 斉藤正一・中村人史・三浦直美・小野瀬浩司 (1999) ナラ類集団枯損被害の薬剤防除法. 森林防疫 48 : 84-94.
- (5) 斉藤正一・中村人史・三浦直美・小野瀬浩 (2000) ナラ類集団枯損被害立木へのNC S注入によるカシノナガキクイムシとナラ菌の防除法の改良. 林業と薬剤 152 : 1-11.
- (6) 斉藤正一・中村人史・三浦直美・三河孝一・小野瀬浩司 (2001) ナラ類集団枯損被害の枯死経過と被害に関与するカシノナガキクイムシおよび特定の菌類との関係. 日本林学会誌 83 : 58-61.
- (7) 斉藤正一・中村人史・三浦直美 (2003a) 薬剤と接着剤によるナラ類集団枯損被害における枯死木の新たな防除の試み(1). 林業と薬剤 166 : 18-24.
- (8) 斉藤正一・中村人史・後藤 徹 (2003b) 山形県におけるカシノナガキクイムシの初発日の予測. 東北森林科学会誌 8 (2) : 99-101.
- (9) 斉藤正一 (2005) 殺虫剤と接着剤によるナラ類集団枯損被害の防除法(公立林業試験研究機関研究成果選集No.2. 独立行政法人森林総合研究所編. 茨城) ,19-20.
- (10) 斉藤正一・中村人史・中江純一郎・山本克哉 (2006) 防カビ剤の樹幹注入によるミズナラの枯損被害防止. 東北森林科学会誌11 (2) . 92-96.
- (11) 社団法人日本くん蒸技術協会 (2002) 植物検疫くん蒸作業主任者テキスト(平成14年改訂) 農林水産省生産局植物防疫課監修. 社団法人日本くん蒸技術協会発行.126pp.
- (12) 田代定良 (2006) 臭化メチル代替農薬の効果と普及. 野菜茶業研究集報第3号. 21-28.

論文

山形県におけるカツラマルカイガラムシ被害林の林分構造と更新状況

上野 満 ・ 斉藤 正一

Stand structure and Regeneration of Damaged forest
by *Comstockaspis macroporana* TAKAGI. in Yamagata Prefecture

MitsuruUeno ・ ShoichiSaito

要旨：山形県におけるカツラマルカイガラムシによる森林被害の実態を明らかにするとともに、被害林分の復旧に向けた管理を行うための基礎的資料を得る目的で、被害林分の林分構造と更新状況について調査を行った。カツラマルカイガラムシによる森林被害の拡大スピードは非常に早く、翌年の被害は既被害地の周囲 300～400m 程度を巻き込み、さらに既被害地から飛び火的に最大 10km 程度の地点でも発生することが確認された。被害を受けた林分では、高木類の衰弱・枯死に伴い、未被害樹種の常緑低木が林床に繁茂する。このことは、森林の藪山化を暗示するものであり、被害林の復旧に向けた効果的な方法を構築しなければならない。被害林の復旧にあたっては、被害初期段階での被害木の伐倒と萌芽更新が有効であると考えられた。

I はじめに

カツラマルカイガラムシ (*Comstockaspis macroporana* TAKAGI.) が広葉樹林に大発生し、林木が衰弱・枯死する被害が各地で報告されている(図-1)。現在被害が確認されている県は、山梨県、福島県、長野県、新潟県、山形県であり、いずれの県においても終息の目処は立っていない(大澤ら、2005；近藤ら、2006；斉藤ら、2006)。

カツラマルカイガラムシは、日本に土着の種で、1956 年にカツラの木より採取されて以来、北海道から九州にかけての平地から亜高山帯で分布が確認されている(河合、1994；井上、1994；図-2)。1960～1970 年代には、九州、四国、近畿の西日本一帯のクリ園で大発生し、クリの重要害虫としてよく知られている。その生態や防除に関する研究は、クリの害虫としてこれまで多くなされておき、防除方法も確立されている(平山ら、1975)。

しかし、森林での被害は、これまでほとんど無く、クリ園に隣接する雑木林に発生した報告があるのみで、大きな被害には至っていなかった(井上、1994)。さらに、東日本での被害については、報告がほとんど無いため、その生態について改めて調査する必要がある。また、これまで提唱されてきた防除方法は、クリ園を対象とした薬剤散布によるもので(平山ら、

1975)、森林での適用は困難である。そこで今後、森林でのカツラマルカイガラムシに対する対処方法を新たに確立する必要がある。

本報は、カツラマルカイガラムシによる森林被害の実態を明らかにし、防除方法の開発さらには、被害林分の復旧に向けた管理を行うための基礎的資料を得る目的で、被害林分の実態調査と更新状況調査を行ったので報告する。



図-1 カツラマルカイガラムシ被害林
尾根部の葉が枯れ落ち、奥が透けて見える



図-2 ツラマルカイガラムシの介殻

Ⅱ 山形県における被害地の特徴

山形県のツラマルカイガラムシによる最初の森林被害は、2003年に山形市東部の飯田地内のコナラを主体とする広葉樹二次林で確認された。当初5.92haであった被害区域は、年次を追うごとに爆発的な広がりを見せ、2008年には村山地域、置賜地域、庄内地域の15市町983.09haまで拡大した(表-1)。

被害林は、主にコナラを主林木とした林分で、山形県では一般的な薪炭林に由来する広葉樹二次林である。一般に山形県における森林植生は、標高によ

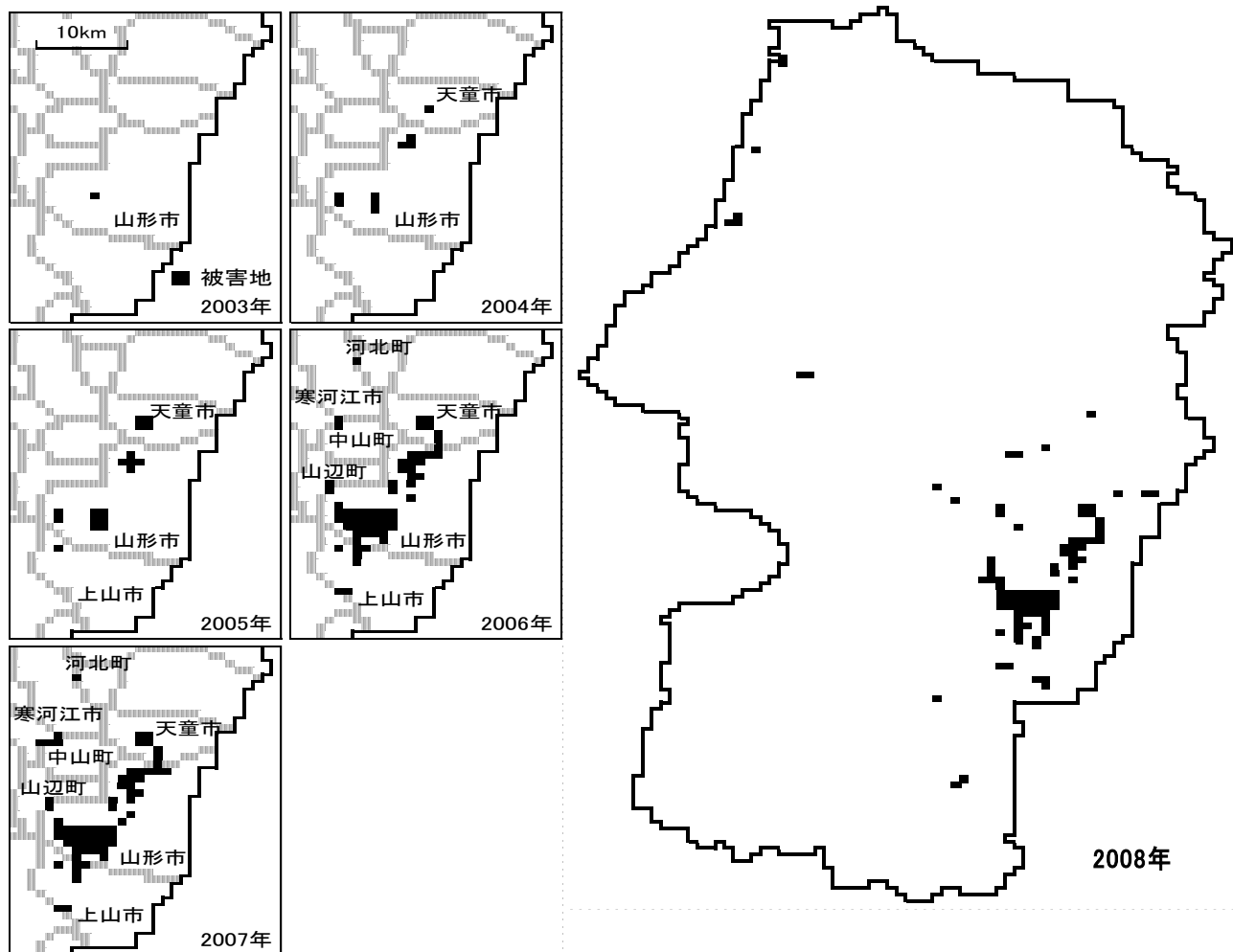
り区分することができ、標高350m程度まではコナラが主林木となる森林を形成する。被害は、標高400m未満の比較的低標高域で発生しており、コナラの標高帯とほぼ一致していた。大澤ら(2005)が山梨県で行った調査では、標高980m以下の林分で被害が発生しており、コナラへの被害が最も多いと報告している。また、近藤ら(2006)が長野県で行った調査では、被害樹種の80%がコナラとミズナラであったことを報告している。以上のことから、カツラマルカイガラムシによる森林被害は、今後もコナラを中心とした広葉樹林に拡大することが予想される。

カツラマルカイガラムシの自立移動は、その生態から2～3日間の孵化幼虫期に限られ、分散範囲は40～50cm程度である(井上, 1994)。しかし、被害の周囲への拡大が、年間300～400m程度進行しているうえ、新たな被害地が、既被害箇所から10km程度離れた地点で飛び火的に発生している(図-3)。これは、カツラマルカイガラムシの拡大には、自立移動以外の第三の伝播者が関与している可能性を示唆するものである。具体的には、風による飛散、鳥類の羽毛への付着や寄生枝の巢材としての持ち出し、チョウ・ガ類など飛翔能力のある昆虫への付着などによる伝播が想像される。今後、被害の拡大にあたっては、伝播者にも注目して観察する必要がある。

表-1 山形県におけるツラマルカイガラムシによる被害区域面積

(ha)

市町村名	2003	2004	2005	2006	2007	2008	合計
山形市	5.92	10.74	57.85	320.07	198.73	80.32	673.63
天童市		2.30	13.64	50.25	1.72	14.94	82.85
上山市			0.44	5.43	7.55	62.38	75.80
山辺町				1.50	28.13	47.26	76.89
中山町				0.48	0.00	3.77	4.25
寒河江市				0.05	1.40	18.07	19.52
河北町				0.11	0.03	5.09	5.23
大江町					2.40	4.80	7.20
村山市						4.79	4.79
東根市						8.04	8.04
米沢市						13.00	13.00
南陽市						0.79	0.79
鶴岡市						0.10	0.10
酒田市						1.00	1.00
遊佐町						10.00	10.00
合計	5.92	13.04	71.93	377.89	239.96	274.35	983.09



図－3 山形県における被害林の拡大推移

Ⅲ 被害林の林分構造と更新状況

1. 調査地および調査方法

1) 調査地

調査地は、山形県山形市蔵王半郷地内のコナラを主林木とする広葉樹二次林で、標高 300m に位置する。連続する斜面を被害林（2004 年被害確認の被害 2 年目）、被害移行林（2005 年被害発生 of 被害 1 年目）、健全林（外観的な被害なし）に区分し、それぞれに 20m×20m の固定調査区を 1 箇所設置した。

2) 林分構造の調査

調査は、胸高直径 4.0cm 以上の立木（立枯れの個体を含む）に番号をつけ、樹種、胸高直径、樹高、被害度を記録し、階層別に植被率を調べた。なお、被害度は、被害の発生から枯死にいたるまでの経過を観察した結果から、以下の 4 つに区分した。

- 【健全】；葉枯等の症状が全く見られない個体
- 【部分葉枯】；部分的に葉が枯れている個体（おおむね 5 割以内の葉枯れ）
- 【全体葉枯】；全体的に葉が枯れている個体で、コナラ等については後生枝が顕著に見られる個体を含む
- 【枯死】；完全に枯死している個体

3) 更新の調査

被害林分における萌芽更新の可能性を検討するために、被害木を伐倒し、伐根からの萌芽の発生状況について調べた。調査木は、部分葉枯のコナラ 10 本、全体葉枯のコナラ 9 本とミズナラ 1 本で、2005 年 11 月に地際から 20cm の高さで伐倒した。その翌年の 2006 年 7 月に伐根から発生した萌芽の本数と丈を調査した。

また、天然下種による実生更新の可能性を検討するためにシードトラップを設置し、ナラ類の種子の落下量を調査した。シードトラップは、被害林と被

害移行林に8月から11月までの期間設置し、ほぼ2週間おきに種子の回収を行った。回収した種子は、健全粒、シイナ、未熟粒、虫食に区分した後、それぞれの個数をカウントした。また、対照区となる健全林は、カツラマルカイガラムシ影響を受けていない、被害地から約20kmの地点にある朝日町大谷の秋葉山に設け、同様の調査を行った。

2. 結果と考察

1) 被害樹種

調査区内に出現した樹種は、全28種であった。そのうちカツラマルカイガラムシの寄生が確認され、葉枯れを起こしている樹種は18種で、落葉高木ではコナラ、ミズナラ、クリ、ケヤキ、ホオノキ、オオヤマザクラの6種、落葉小高木ではウリハダカエデ、ヤマモミジ、アオハダ、コバノトネリコなど8種、落葉低木ではガマズミ、オオバクロモジ、カマツカの3種で、いずれも山形県の広葉樹二次林を構成する代表的な樹種であった。また、寄生が確認できなかった樹種は10種で、常緑高木のスギ、アカマツの2種、落葉小

高木ではリョウブ、ヤマウルシの2種、低木類ではエゾユズリハ、ハイイヌガヤなどの常緑低木4種と、ヤマツツジ、アクシバの落葉低木2種であった(表-2)。

カツラマルカイガラムシの寄生は、ブナ科、ニレ科、カバノキ科など落葉広葉樹の多樹種で確認されている(河合, 1994; 平山ら, 1975; 大澤ら, 2006)。また、観察の結果、調査区外のイタヤカエデ、ハウチワカエデ、ミヤマガマズミさらに周囲のブドウ畑のブドウなどでも寄生が確認された。これは、カツラマルカイガラムシは、寄生主を限定せずに寄生することを示唆しており、今後の調査で寄生樹種の数にはさらに増えるものと考えられる。

しかし一方で、常緑樹、針葉樹への被害は、これまで報告されておらず、今回の調査でも常緑樹と針葉樹への寄生は確認できなかった。また、落葉広葉樹でもリョウブでは寄生が確認できなく、これは大澤ら(2006)の調査と一致していた。さらにヤマボウシは寄生が確認されたが、比較的健全な個体が多かった。今後、カツラマルカイガラムシの嗜好性や、抵抗性のある樹種についても明らかにする必要がある。

表-2 樹種別の被害確認状況

被害の確認	種 名	生活型区分	
あり	コナラ	<i>Quercus serrata</i>	落葉高木
	ミズナラ	<i>Quercus crispula</i>	落葉高木
	クリ	<i>Castanea crenata</i>	落葉高木
	ケヤキ	<i>Zelkova serrata</i>	落葉高木
	ホオノキ	<i>Magnolia obovata</i>	落葉高木
	オオヤマザクラ	<i>Prunus sargentii</i>	落葉高木
	ウリハダカエデ	<i>Acer rufinerve</i>	落葉小高木
	ヤマモミジ	<i>Acer amenum vae. matsuurae</i>	落葉小高木
	アオハダ	<i>Ilex macropoda</i>	落葉小高木
	コバノトネリコ	<i>Fraxinus lanuginosa f. serrata</i>	落葉小高木
	ヤマボウシ	<i>Benthamia japonica</i>	落葉小高木
	アズキナシ	<i>Sorbus alnifolia</i>	落葉小高木
	ウワミズザクラ	<i>Prunus grayana</i>	落葉小高木
	オクチョウジザクラ	<i>Prunus apetala ssp. pilosa</i>	落葉小高木
	エゴノキ	<i>Styrax japonica</i>	落葉小高木
	ガマズミ	<i>Viburnum dilatatum</i>	落葉低木
	オオバクロモジ	<i>Lindera umbellata var. membranacea</i>	落葉低木
	カマツカ	<i>Pourthiaea villosa var. laevis</i>	落葉低木
なし	アカマツ	<i>Pinus densiflora</i>	常緑高木
	スギ	<i>Cryptomeria japonica</i>	常緑高木
	リョウブ	<i>Cethra barvinervis</i>	落葉小高木
	ヤマウルシ	<i>Rhus trichocarpa</i>	落葉小高木
	アクシバ	<i>Vaccinium japonicum</i>	落葉低木
	ヤマツツジ	<i>Rhododendron obtusum var. kaempferi</i>	落葉低木
	エゾユズリハ	<i>Daphniphyllum macropodum var. humile</i>	常緑低木
	ハイイヌガヤ	<i>Cephalotaxis harringtonia var. nana</i>	常緑低木
	ハイイヌツゲ	<i>Ilex crenata var. paludosa</i>	常緑低木
	<i>Aucuba japonica var. borealis</i>	常緑低木	

2) 被害度

調査区の立木密度は、健全林では1,775本/ha、被害移行林では1,175本/ha、被害林では825本/haであった。被害林は、既に多くの個体が枯死破損したことで、調査に先立ち被害枯死木を伐倒したことにより、他の調査区に比べ立木密度は低く、平均樹高と平均直径はともに大きかった（表－3）。

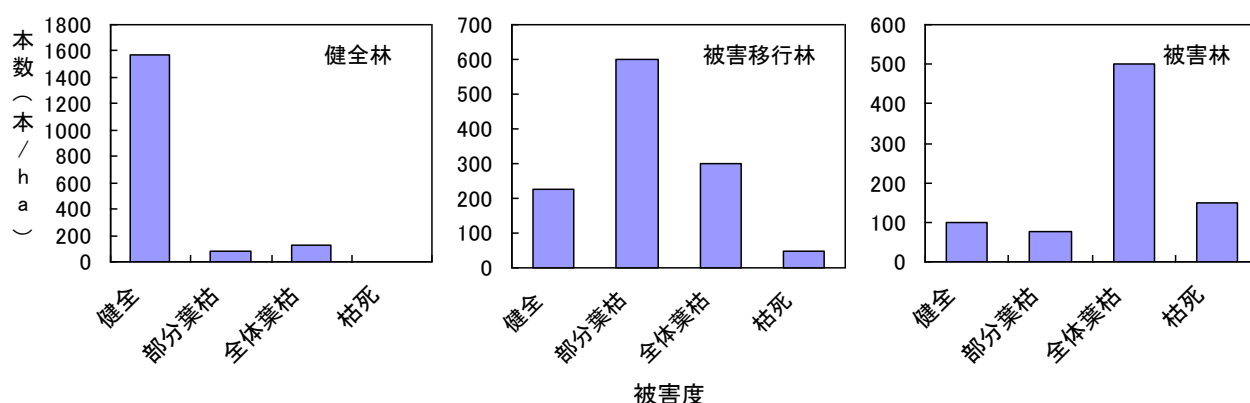
健全林は、林外から見た場合、被害木は見られなかったが、調査の結果、部分葉枯、全体葉枯の個体が若干確認された。被害移行林は、部分葉枯の個体が最も多く、全体の約半数を占めていた。被害林で

は、全体葉枯が最も多く500本/ha、枯死が150本/haで、被害発生からの時間が経過するほど、より被害度が進行した個体の割合が増えた（図－4）。

被害林については、先述のとおり、既に枯死した個体がカウントされていない。被害林の従来の立木密度は不明であるが、被害移行林と同等であった仮定すると、被害が確認されて2年間で約4割の個体が枯死したことになる。カツラマルカイガラムシは、同一林分内に複数年にわたり居座り続け、樹勢を衰弱・枯死させることから、被害林分を継続的に観察してゆく必要がある。

表－3 調査区の概況

調査区名	方位	傾斜(°)	立木密度 (本/ha)	平均胸高直径 (cm)	平均樹高 (m)
健全林	W	26	1775	13.9	15.6
被害移行林	N60° W	29	1175	14.2	11.9
被害林	N60° W	23	825	22.2	17.8



図－4 被害度毎の本数

3) 林分構造

被害の進行に伴う林分構造の変異を、階層別の植被率から分析した（図－5）。健全林では高木層が80%で、亜高木層が極端に低く15%、そこからより下層に行くほど植被率が徐々に高くなっていた。この林分構造は、山形県の壮齢の広葉樹二次林では、一般的な階層構造の形態である（上野ら、2005）。

被害1年目の被害移行林は、健全林に比べ亜高木層、低木層、草本層の植被率が著しく低かった。これは、カツラマルカイガラムシによる樹勢の衰弱が、当初アオハダやエゴノキなどの低木類と、コナラなどの高木類でも比較的サイズが小さい被圧木に顕著

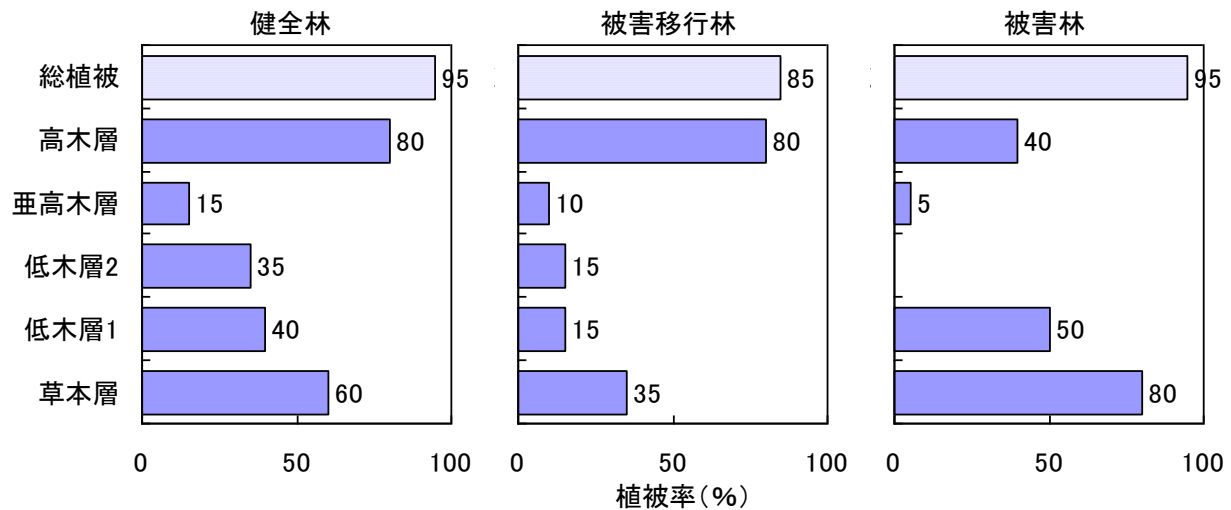
に現れるためである。また一方で、林冠を構成するコナラやミズナラなどの被害は、カツラマルカイガラムシが寄生した梢端部分2～3mのところで葉が赤褐色に変色するのみである。そのため高木層の植被率は、健全林のものと同程度であった。

被害発生2年目の被害林では、林冠を構成するコナラやミズナラは、梢端部分の枝が2～3m枯れ下り、枯枝の下部から幹にかけて後生枝が多数発生する異様な様態となる（図－6）。後生枝は、頂芽で生成されるホルモンの作用で、幹や枝の先端部が枯死したり、衰弱すると発生することが知られている（谷本、1990）。被害林の高木層の植被率は、健全林、被害移

行林に比べ極めて低く、これは、梢端部の枝の枯死により葉量が減ったことと、枯死木が発生したためである。高木層の衰退は、林床への陽光の投下量を増加させるため、未被害樹種で林床植生を形成するヒメアオキ、エゾユズリハなどの常緑低木の生育を促し、草本層の植被率を急激に増加させる結果とな

った（図－7）。

被害地の主林木であるコナラやミズナラは、その生長にかなりの明るさを要するため、常緑低木の繁茂は、ナラ類の更新阻害要因になりうる。そのため、今後被害林分の復旧にあたっては、低木類の下刈りや徐伐が重要な作業になるものと考えられる。



図－5 階層別植被率



図－6 先端が枯死し後生枝が発生した被害木



図－7 林冠の疎開と林床植生の発達

4) 更新状況

①天然下種更新

種子の落下量を表－4 に示した。種子の落下量は、健全林では年間 238.6 個/㎡であり、そのうち健全粒が最も多く 163.1 個/㎡であった。被害移行林内の母樹となりうるナラ類は分部葉枯が多く、林相は一見健全林と大きな違いはなかった（図－8）。しかし、種子の落下量は、健全林に比べ極端に少なく年間 57.0 個/㎡で、ほとんどが未熟粒の 56.4 個/㎡で、

健全粒はわずか 0.6 個/㎡あった（図－9）。母樹のナラ類のほとんどが全体葉枯の被害林では、種子の落下量は、年間 23.6 個/㎡とさらに少なく、ほとんどが未熟粒の 23.2 個/㎡で、健全粒はなかった。

カツラマルカイガラムシの寄生木は、被害の程度に関わらず、種子生産能力が著しく低下することが明らかになった。前述のように、被害林内のナラ類は、被害が進行すると後生枝を発生させ、ようやくその個体を維持している状態である。ナラ類の後生

枝に種子が結実するのに要する年数は不明であるが、たとえ枯死を免れたとしても母樹としての期待は当分できないものと思われる。一方、山形県の広葉樹二次林内においては、一般的にナラ類の実生由来の前生稚樹は少なく、更新が見込めるまでに生育して

いないのが現状である(上野ら, 2005)。以上のことから、カツラマルカイガラムシ被害林分の復旧は、天然下種や前生樹による更新では困難であると考えられる。

表-4 種子の落下数量 (個/㎡)

被害区分 / 種子の種類	健全粒	未熟粒	シイナ	虫食い	計
健全林	163.1	40.1	1.4	34.0	238.6
被害移行林	0.6	56.4	0.4	0.2	57.0
被害林	0.0	23.2	0.2	0.2	23.6



図-8 被害移行林のシードトラップ設置状況



図-9 未熟な段階で落下した種子

②萌芽更新

萌芽の発生は、部分葉枯の株からは 10 株のうち 8 株で発生が見られ、全体葉枯の株からは 10 株のうち 5 株で見られた。萌芽の発生本数は、各株でばらつきがあったが、平均で部分葉枯の株から 21.8 本、全体葉枯の株から 23.0 本とほとんど差はなかった。また、萌芽の丈の平均は、部分葉枯のもの 40.7cm、全体葉枯のもの 22.0cm と部分葉枯の株から発生したものが大きかった。総じて萌芽発生状況は、部分葉枯の株のほうが全体葉枯れの株より旺盛であった(表-5)。

カツラマルカイガラムシの寄生木は、被害が進行し

て樹勢が衰弱していても、ある程度萌芽能力あることが確認された。しかし、萌芽能力は、被害度が進むほど低下する傾向にあり、被害初期段階での伐倒処理が、その後の萌芽更新には効果的である。しかし、新たに発生した萌芽には、部分葉枯、全体葉枯を問わず、ウドンコ病が発生しており、一部にはカツラマルカイガラムシの再被害が見られた(図-10)。カツラマルカイガラムシは、寄生主のサイズに関係なく寄生することから、再被害を回避するための更新補助作業が不可欠である。

表-5 萌芽の発生状況

被害度	調査木	発生株数(個体)	萌芽本数(本)	萌芽丈(cm)
部分葉枯	コナラ(10本)	8	21.8	40.7
			1~68	10.0~100.0
全体葉枯	コナラ(9本) ミズナラ(1本)	5	23.0	22.0
			3~37	7.0~43.0

注) 萌芽本数, 萌芽丈: 上段は平均値, 下段は最小~最大



図-10 被害木切り株から発生した萌芽と
それに発症したウドンコ病

Ⅳ まとめ

本報は、カツラマルカイガラムシによる森林被害の実態を明らかにし、防除方法の開発と被害林分の復旧に向け、被害林の実態調査を行った。

カツラマルカイガラムシによる森林被害の拡大スピードは非常に早く、翌年の被害は既被害地の周囲300～400m程を巻き込み、さらに既被害地から飛び火的に最大10km程度の地点でも発生することが確認された。このように被害の拡大傾向を明らかにすることは、今後の被害地を予測し、新たな被害地の早期発見に効果的である。

被害を受けた林分では、高木類の衰弱・枯死に伴い、未被害樹種の常緑低木が林床に繁茂する。このことから、さらなる高木の枯死は、森林の藪山化を暗示するものであり、被害林の復旧に向けた効果的な方法を構築しなければならない。

被害林の復旧にあたっては、被害初期段階での、被害木の伐倒と萌芽更新が有効であった。しかし、発生した萌芽は、新たな寄生の対象となり、再被害が問題となった。近藤ら(2006)は、萌芽に薬剤を散布することで、カツラマルカイガラムシの再被害抑制の効果を報告しており、今後の実用化が期待される。

本調査から、カツラマルカイガラムシによる森林被害の実態と、被害林の復旧にあたっての問題点が徐々に明らかになってきた。しかし、根本的な問題として、かつて西日本のクリ園で猛威を振るったカツラマルカイガラムシが、近年になって、東日本の広葉樹林で大発生した原因は、依然不明である。今

後は、発生原因を明らかにするとともに、被害林の復旧に向けた管理方法を検討する。

本報は、「森林防疫 (Vol. 56, NO. 5)」を一部改編したものである。

Ⅴ 引用文献

- (1) 平山好見・野上隆史(1975) クリを加害するカツラマルカイガラムシの生態と防除. 植物防疫 29 : 2-6.
- (2) 河合省三(1994) 吸汁性害虫 カツラマルカイガラムシ. 森林昆虫(小林富士雄, 竹谷昭彦編), pp. 427, 養賢堂.
- (3) 井上悦甫(1994) クリの害虫 カツラマルカイガラムシ. 森林昆虫(小林富士雄, 竹谷昭彦編), pp. 513-515, 養賢堂
- (4) 近藤道治・岡田充弘(2006) カシノナガキクイムシ等広葉樹類の昆虫被害防除技術に関する研究ーカツラマルカイガラムシの防除技術に関する研究ー. 長野県森林総合センター業務報告(平成17年度): 36-37.
- (5) 大澤正嗣・名取潤(2005) カツラマルカイガラムシの生態の解明と天敵を利用した被害軽減法の検討. 山梨県森林総合研究所事業報告(平成16年度): 16-17.
- (6) 大澤正嗣・名取潤(2006) カツラマルカイガラムシの生態の解明と天敵を利用した被害軽減法の検討. 山梨県森林総合研究所事業報告(平成17年度): 12-13.
- (7) 斉藤正一・上野満(2006) カツラマルカイガラムシに対する殺虫剤の樹幹注入防除試験. 11回東北森林科学会講演要旨: 42.
- (8) 谷本丈夫(1990) 萌芽の役割. 広葉樹施業の生態学, pp. 77-82, 創文.
- (9) 上野満・斉藤正一(2005) 山形県最上地域における広葉樹二次林の林分構造と更新状況, 116回日本森林学会学術講演集: PB47.
- (10) 上野満・斉藤正一(2006) 山形市周辺における広葉樹集団葉枯れの現状ーカツラマルカイガラムシの被害よりー. 117回日本森林学会学術講演集: PB47.

短 報

県産スギ黒心材の耐朽性と利用

福島 弘 幸・鈴木 健 治・後 藤 徹・三 河 孝 一・中 村 人 史

The durability and utilization of black heart wood of Sugi planted in yamagata prefecture

Hiroyuki FUKUSHIMA・Kenji SUZUKI・Toru GOTO・Kouichi MIKAWA・Hitoshi NAKAMURA

(2009 年 3 月 17 日受理)

要旨：県産スギ黒心材の耐朽性を明らかにしたうえで、それを活かして住宅の土台や塀などの外構材として利用可能かどうかについて検討した。県産スギ黒心材は、①赤心材や辺材に比べてオオウズラタケ菌に対する耐朽性が高い。②乾燥と吸湿が繰り返される条件下でも、その耐朽性が持続することから、塀等の外構材としての利用が期待できる。③土台として利用する場合に、柱の建て込みを想定した鉛直上方からの荷重に対して、十分な強度を有する。④乾燥特性として、含水率の範囲によっては赤心材に比べて乾燥時間が長くなり、また、平均年輪幅が小さい場合や初期含水率が高い場合には、乾燥時間が長く掛る傾向があることが明らかになった。

I は じ め に

県産スギ材の 1 割程度を占めると見られる黒心材は、色が黒く見た目が悪いことから、使用されずに捨てられ、又は低価格で取引されるなど、十分に利用されているとは言えない状況にある。しかし、県外においては、黒心材の耐朽性が高いと考えられ、経験的に土台や塀等に利用されてきた例も見られる。

これまで、黒心材に関する研究としては、その発生原因や色が黒いという外観的欠点の改良に関するものは見られるものの、その形質を活かすような研究はあまり見られない。

そこで、耐朽性が高いといわれる黒心材の形質を活かして、住宅の土台や塀などの外構材に黒心材の利用を進めていくため、県産スギ黒心材の耐朽性能を明らかにしたうえで、外構材として要求される耐朽性の持続性、土台として要求される強度及び黒心材を利用する上で必要となる乾燥に関する特性について検討を行ったので、その結果を報告する。

II 試 験 方 法

1. 黒心材の耐朽性試験

1) 試験体

供試材は、県産スギ黒心材、赤心材、辺材及びブナ辺材を使用し、辺長 20mm の二方桁の立方体を各 15 個作成し試験体とした。ブナ辺材は腐朽操作における腐朽効力を判定するために使用した。

2) 供試菌

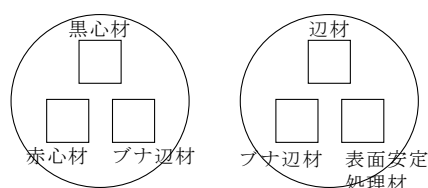
腐朽操作には、独立行政法人農業生物資源研究所ジーンバンクから配布を受けたオオウズラタケ (*Fomitopsis palustris*) の菌株を使用した。培養基の作成及びオオウズラタケ菌の培養は JIS Z 2101 に準じてを行い、菌が十分繁殖したものを供試菌とした。

3) 耐朽性試験方法

腐朽操作は、JIS Z 2101 に準じて行った。

試験体の培養瓶内での配置方法を図-1 に示した。黒心材、赤心材及びブナ辺材を各 1 個組み合わせて 3 個とした培養瓶で、黒心材と赤心材の耐朽性を測定した。また、時期を合せて別途行った表面安定処理材の耐朽性試験において、表面安定処理材、スギ辺材、ブナ辺材を各 1 個組み合わせて 3

個とした培養瓶で、辺材の耐朽性を測定した。



図－１ 培養瓶内の試験体の配置

試験体は繊維方向を垂直にして供試菌の上に乗せ、温度 26℃の恒温器内で約 60 日間腐朽操作を行った。腐朽操作終了後の各試験体の測定は JIS Z 2101 に準じて行い、腐朽操作の前後の質量差から質量減少率を次式により算出し、黒心材、赤心材及び辺材の耐朽性を比較した。

$$\frac{(\text{腐朽操作前の質量} - \text{腐朽操作後の質量})}{\text{腐朽操作前の質量}} \times 100\%$$

なお、同時に腐朽操作を行ったブナ辺材の質量減少率が 10%以上の場合に、その培養瓶の腐朽効力が有効であるものと判断した。

2. 黒心材の耐候性試験

1) 試験体

供試材は、県産スギ黒心材、赤心材、辺材を使用し、木口面で 5×20mm、長さ 40mm で、40×20mm の面が柁目面となるように試験体を作成し、両木口面を常温で硬化する接着剤でシールした。辺材は腐朽試験における培養菌の活力を判定するために使用した。

試験体の数は、耐候操作の回数が 0 回、10 回、20 回、30 回の各区分につき黒心材と赤心材を各 42 個、辺材は全体で 42 個とした。

2) 供試菌

腐朽操作には、独立行政法人農業生物資源研究所ジーンバンクから配布を受けたオオウズラタケ (*Fomitopsis palustris*) の菌株を使用した。培養基の作成及びオオウズラタケ菌の培養は JIS K 1571 の表面処理用に関する規定に準じて行い、菌が十分繁殖したものを供試菌とした。

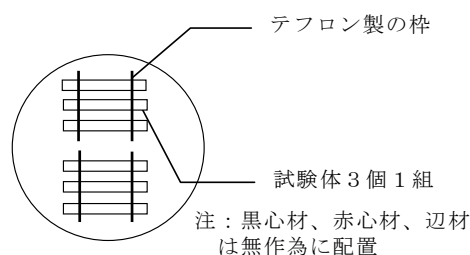
3) 耐候性試験方法

耐候操作及び腐朽操作は、JIS K 1571 の表面処理用に関する規定に準じて行った。

耐候操作は 1 回当たり静水内での 5 時間の溶脱操作と、温度 40℃の恒温乾燥器内での 19 時間の揮

散操作の組み合わせで行い、その繰返し回数を 0 回、10 回、20 回、30 回に区分して行った。0 回、10 回及び 20 回の耐候操作が終了した試験体は、30 回の耐候操作が終了するまで気乾状態で冷暗所に保管した。なお、辺材は耐候操作を行わなかった。

耐候操作が全て完了した後に、別途殺菌した厚さ 1 mm のテフロン製の板枠に試験体を 3 個ずつはめて、1 培養瓶内に 2 セットずつ 40×5 mm の面が下になるように菌そうに載せ (図－2)、温度 26℃の恒温器内で 12 週間の腐朽操作を行った。



図－2 培養瓶内の試験体の配置

腐朽操作終了後の各試験体の測定は JIS K 1571 の表面処理用に関する規定に準じて行い、腐朽操作の前後の質量差から質量減少率を次式により算出し、耐候操作の回数が質量減少率に及ぼす影響を検討した。

$$\frac{(\text{腐朽操作前の質量} - \text{腐朽操作後の質量})}{\text{腐朽操作前の質量}} \times 100\%$$

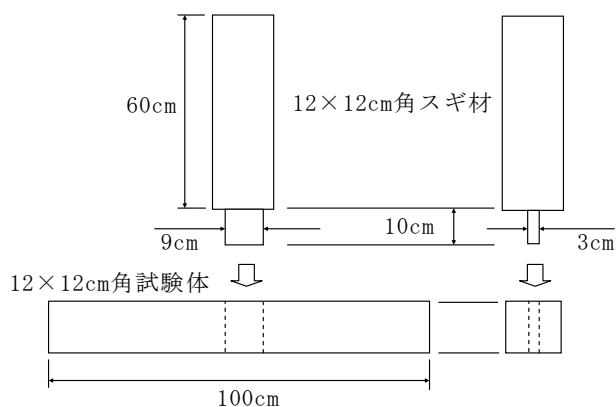
3. 黒心材のめり込み試験

1) 試験体

供試材は、県産スギ黒心材、スギ赤心材、ヒノキ材及びベイヒバ材を使用し、住宅の土台を想定して 12×12cm 角で長さ 100cm の試験体を各 4 個作成した。

2) めり込み試験方法

各試験体の長さ方向の中央部に、縦 9cm×横 3cm の貫通する角ほぞを開け、柱を想定して別途作成した 12×12cm で長さ 60cm のスギ角材に縦横が同寸法で長さ 10cm のほぞを作り、各試験体に建て込んだ (図－3)。建て込んだスギ角材の上部から、実大強度試験機を使用して最大荷重が 10 t になるまで鉛直下方に荷重を加え、この時に柱を想定した角材が試験体にめり込んだ量を試験体の両側で測定し、その平均値を各試験体で比較した。



図－３ めり込み試験体の構造

4. 黒心材の乾燥試験

1) 試験体

供試材は、県産スギ黒心材とスギ赤心材で、末口径 26cm～34cm、長さ 2m の丸太から、心材部のみを使用して 13×13cm の心持正角を、黒心材 9 本、赤心材 11 本製材した。それぞれの製材の両端から、20cm を切り捨てた後に厚さ 2cm の含水率測定用サンプル材を採取し、最終的に長さ 150cm の試験体を作成した。含水率測定用サンプルは、全乾法により含水率を測定し、各試験体の推定全乾重量を算出した。

各試験体は、末口側で平均年輪幅を測定した後、両木口面をシリコンでシーリングした。

2) 乾燥試験方法

(1) 人工乾燥の方法

試験体は、縦 150cm 横 130cm に栈積みし、容量 10 石の蒸気式乾燥機を使用して、乾球温度 70℃、湿球温度 65℃の一定条件で人工乾燥を行った。温湿度条件を一定とした理由は、各試験体の初期含水率及び乾燥途中の含水率が異なる場合でも、含水率に対する温湿度の影響に差が生じないようにするためである。

(2) 乾燥途中の含水率測定方法

人工乾燥の途中において、一定時間経過毎に全ての試験体を乾燥室から一時的に取り出して重量を測定し、あらかじめ算出した推定全乾重量から乾燥途中の含水率を推定した。重量を測定した試験体はできるだけ速やかに乾燥室内へ戻した。

(3) 乾燥終了後の試験体の測定

人工乾燥は、全ての試験体の含水率が 20% に達したと考えられる時点で終了した。

養生後に試験体を乾燥室から取り出し、乾燥に

伴い発生した表面割れの長さとは最大幅を測定した。その後、各試験体の中央部から厚さ 2 cm の含水率測定用サンプルを採取し、全乾法により含水率を求め、これを乾燥終了時の各試験体の含水率とした。これを基準として算出した全乾重量から、乾燥途中に測定した重量を含水率に換算し、含水率が 10% 低下するのに要した時間（以下「含水率低下時間」という。）を各試験体について求め、黒心材と赤心材の乾燥経過の違いについて検討した。

また、これとは別に各試験体の中央部付近から厚さ 2 cm の比重測定用サンプルを採取し、屋内で気乾状態に達するまで保管し、断面、厚さ及び質量を測定して気乾比重を算出した。

Ⅲ 結果及び考察

1. 黒心材の耐朽性試験

同時に腐朽操作を行ったブナ辺材の質量減少率が、10% 以上であった 10 個の培養瓶の腐朽効力を有効と判断した。表－1 にそれらの培養瓶における黒心材、赤心材及び辺材の質量減少率を示した。

表－1 県産スギ黒心材の耐朽性試験結果

区 分	平均年輪幅(mm)	平均比重	質量減少率(%)
黒心材	3.76	0.370	15.65
			9.24～22.06
赤心材	4.18	0.337	38.86
			34.23～43.48
辺 材	2.42	0.337	40.65
			36.07～45.24

注 1：年輪幅、比重は腐朽操作前の数値

注 2：試験体の個数は各区分 10 個

注 3：質量減少率の上段は平均値、下段は平均値の 95% 信頼区間

腐朽操作前後の質量減少率の平均値は、黒心材<赤心材<辺材の順で大きく、オオウズラタケ菌による腐朽に対して、黒心材は赤心材及び辺材に比べ耐朽性が高いものと言える。

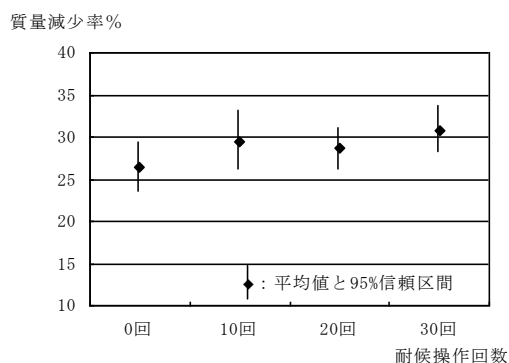
今回の試験結果は、1 つの腐朽菌に対する耐朽性を示すものであるが、オオウズラタケ菌は日本における代表的な褐色腐朽菌の一つであることから、比較的耐朽性が要求される住宅の土台や外構材として、黒心材の利用が期待できる。

2. 黒心材の耐候性試験

同時に行った辺材の腐朽による質量減少率は平均で 44.2% であり、JIS K 1571 の表面処理用に関

する規定における有効性判定のライン（30％）を超えることから、腐朽操作における腐朽菌の活力は有効であると判断した。

図－4に耐候操作の回数と質量減少率の変化を示した。



図－4 黒心材の耐候性試験結果

耐候操作の回数が増加するに伴い、質量減少率が増加する傾向が見られたが、質量減少率の平均値と比較すると、耐候操作の回数に関わらず質量減少率に明確な差は見られなかった。このことから、黒心材の耐朽性は、乾湿の繰返し条件下で、ある程度の持続性を有するものと考えられる。

外構材は日射や降雨による乾燥と吸湿の気象作用を受けるものと考えられるが、本試験の結果から、黒心材の耐朽性を活かして、これらの用途における黒心材の利用が期待できる。

3. 黒心材のめり込み試験

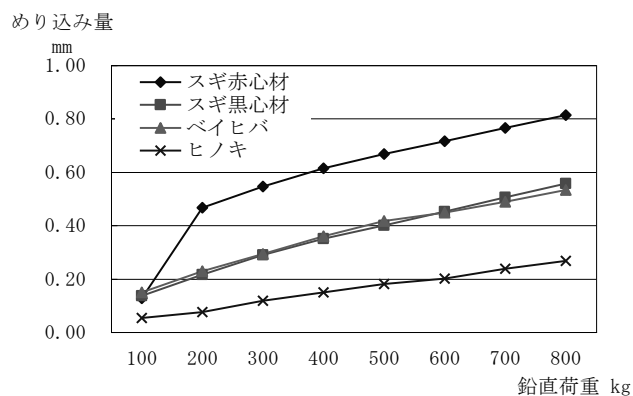
表－2 めり込み試験体の概要

区 分	比 重	試験時含水率(%)
黒心材	0.37～0.43	14.0～21.7
赤心材	0.42～0.44	17.7～18.0
ヒノキ材	0.55～0.60	24.7～25.3
ベイヒバ材	0.42～0.48	18.0～19.7

注1：比重及び試験時含水率の値は、4試験体の最小～最大

注2：試験時含水率は、1試験体当たり3箇所の高周波含水率計による測定結果

表－2に試験体の概要、また、図－5に800kgまでの荷重範囲における、めり込み試験結果を示した。



図－5 めり込み試験結果

黒心材のめり込み量はヒノキ材よりは大きいですが、ベイヒバ材とほぼ同程度であった。一般的な木造軸組構法住宅においては、柱を介して土台に係る荷重は1本当り200kg程度であると言われており、その荷重における黒心材とヒノキ材のめり込み量の差は0.2mm弱である。スギの接線方向収縮率は含水率1%当たり0.25%程度とすれば⁽³⁾、12×12cm角材の土台では0.3mmとなる。この含水率による寸法変化と比べれば、黒心材とヒノキ材のめり込み量の差は問題になるほどのものではないと考える。

よって、黒心材は土台として使うための十分な強度を有しているものと言える。

4. 黒心材の乾燥試験

1) 試験体の状況

試験体の平均年輪幅は、黒心材が6.6mm、赤心材が6.5mmで差は認めなかった。

また、試験体の初期含水率は、黒心材が80.2～186.9%（平均122.3%）、赤心材が52.4～111.4%（平均74.9%）で、黒心材の初期含水率が高い傾向が見られた。

2) 人工乾燥試験結果

(1) 乾燥に伴い発生した表面割れが含水率低下時間に及ぼす影響

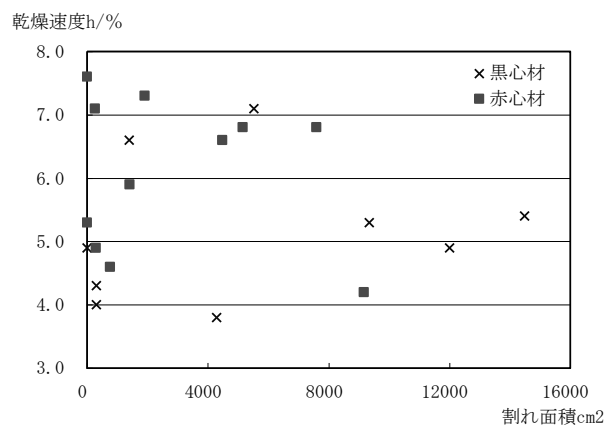
乾燥に伴い試験体20個のうち17個に表面割れが発生し、その割れ面積（最大幅×割れの長さ）は4材面の合計で最小3cm～最大145cmであった。

今回発生した割れが乾燥途中のいつの時点で発生したのかは明らかでないが、乾燥時の割れの発生は、試験体の乾燥に影響があると考えられるた

め、表面割れが含水率低下時間に及ぼす影響について検討した。初期含水率から含水率 20%までの乾燥速度を次式により算出し、図－6 に乾燥速度と乾燥終了時の 4 材面合計の割れ面積との関係を示した。

乾燥速度 (h/%) = (初期含水率－20) / 乾燥時間

注：初期含水率は 10%未満切り捨て、乾燥時間は初期含水率が 20%に低下するまでに要した時間



図－6 表面割れ面積と乾燥速度

各試験体の乾燥速度と割れ面積との間には相関が見られないことから、今回の試験においては割れの発生が乾燥経過に影響していないものと判断した。

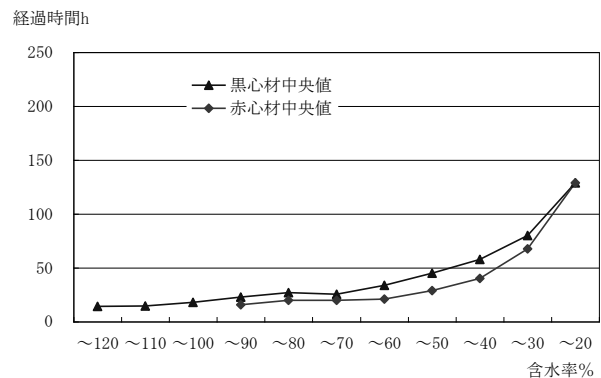
表－3 試験体の形質等と含水率低下時間の関係

	含水率区分%	試験体数	気乾比重	平均年輪幅mm	初期含水率%
黒心材	90～80	7	—	－0.937	—
	～70	9	0.683	－0.971	0.850
	～60	9	0.683	－0.971	0.850
	～50	9	0.850	－0.979	0.750
	～40	9	0.800	－0.954	0.700
	～30	9	—	－0.778	—
	～20	9	0.833	－0.937	0.717
赤心材	80～70	4	—	—	—
	～60	6	—	—	—
	～50	8	—	—	0.800
	～40	11	—	－0.672	0.738
	～30	11	—	－0.836	—
	～20	11	—	－0.791	—

注：—は無相関を表す

(2) 黒心材と赤心材の含水率低下時間

図－7 に、黒心材と赤心材の含水率低下時間を示した。



図－7 黒心材と赤心材の含水率低下時間

黒心材を 130%から 20%まで乾燥するために要した時間は 469 時間であり、恒温乾燥の後半において、黒心材の含水率低下時間は赤心材のそれに比べて大きい傾向が見られた。そこで、黒心材と赤心材の含水率低下時間の差について危険率 5%で U 検定を行ったところ、含水率が 60～30%の範囲において黒心材の含水率低下時間が赤心材のそれに比べて有意に大きかった。

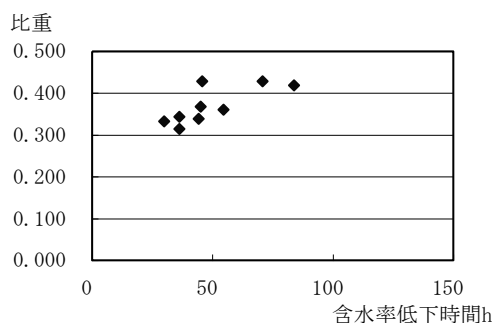
(3) 試験体の形質等と含水率低下時間との関係

表－3 に含水率低下時間と気乾比重、平均年輪幅及び初期含水率との相関を示した。

①気乾比重と含水率低下時間

黒心材においては、最大で 0.850 の相関があったが、含水率の区分によっては相関がない場合もあり、また、赤心材は相関がなかった。

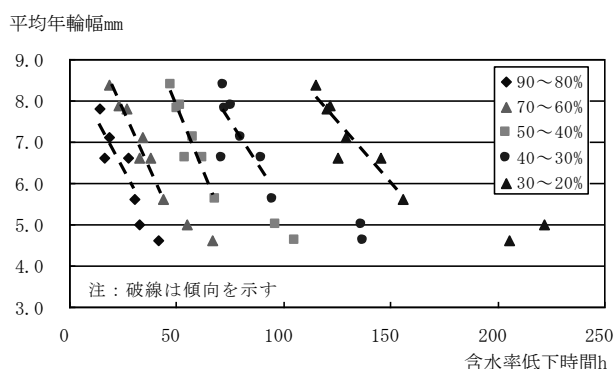
図－8 に黒心材で相関が大きかった含水率 60～50%における比重と含水率低下時間との関係を示した。これを見る限りでは、比重の大小が含水率低下時間に及ぼす影響は小さいものと考えられた。



図－8 気乾比重と含水率低下時間
(含水率 60～50%)

②平均年輪幅及と含水率低下時間

黒心材においては、 $-0.778 \sim -0.979$ 、赤心材では $-0.672 \sim -0.836$ の相関があったが、赤心材では含水率によっては相関がないこともあった。図－9 に黒心材の平均年輪幅と含水率低下時間との関係を示した。これによると、含水率が 90～20%の範囲において平均年輪幅が小さくなるほど含水率低下時間が長くなる傾向が見られた。

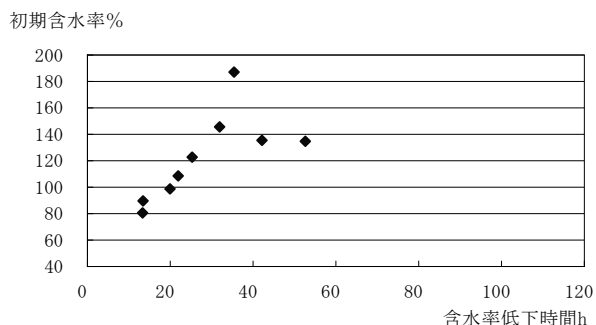


図－9 黒心材の平均年輪幅と含水率低下時間

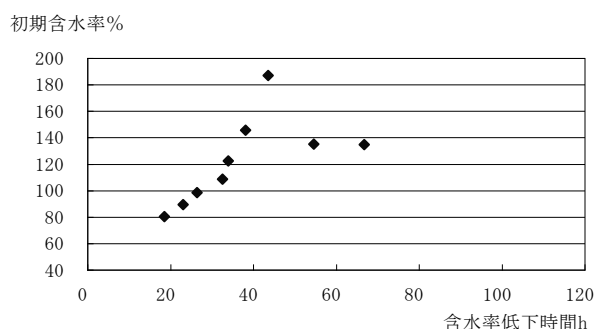
③初期含水率と含水率低下時間

黒心材においては、最大で 0.850 の相関があったが、含水率の区分によっては相関がない場合もあり、また、赤心材はほとんど相関がなかった。図－10～13 に黒心材の初期含水率と含水率低下

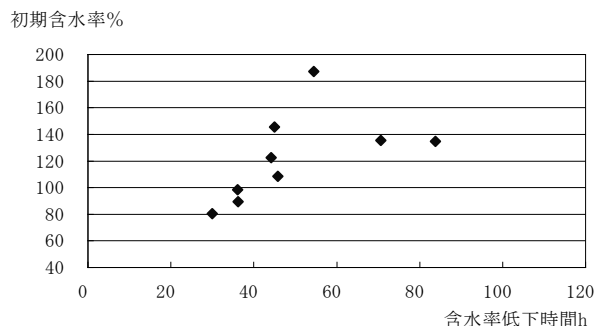
時間の関係を、含水率 80～40%の範囲で示した。



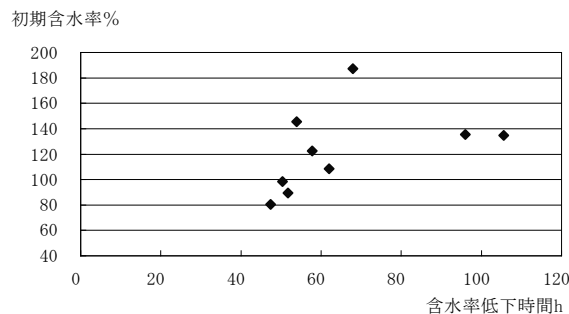
図－10 黒心材の初期含水率と含水率低下時間
(含水率 80～70%)



図－11 黒心材の初期含水率と含水率低下時間
(含水率 70～60%)



図－12 黒心材の初期含水率と含水率低下時間
(含水率 60～50%)



図－13 黒心材の初期含水率と含水率低下時間
(含水率 50～40%)

各含水率の区分で、初期含水率が大きいと含水率低下時間が長くなる傾向が見られた。この結果は、初期含水率による選別乾燥試験の報告例⁽¹⁾と同様の傾向を示している。

4)まとめ

黒心材の乾燥特性については、35mm厚のひき板の人工乾燥試験において、含水率の減少傾向は赤心材と黒心材で大きな差が認められなかったとの報告⁽¹⁾もあることから、今回は断面の大きい住宅用の土台としての使用を想定し、人工乾燥における乾燥特性について検討した。

その結果、黒心材の乾燥を行う場合には、黒心材が赤心材に比べて初期含水率が高いことの外に、含水率 60～30%の範囲において赤心材の乾燥よりも時間を要すること、平均年輪幅の小さいものや初期含水率が高いもののほど乾燥時間が長くなる傾向があることを加味して、赤心材の乾燥スケジュールの温湿度を制御する必要があるものと考ええる。

なお、今回の試験においては、含水率 60～30%の範囲で黒心材が赤心材よりも乾燥時間を要する傾向があることや、使用した試験体の中には、他の試験体に比べて乾燥時間が極端に長くなるものが2個見られたことについて、その原因を明らかにすることはできなかった。黒心材の利用をより進めていくためには、引き続き県産スギ材の材質と乾燥との関係について調査を行い、材料の特性に応じた乾燥方法や選別方法を確立することが必要である。

IV あ と が き

黒心材は赤心材に比べてオオウズラタケ菌に対する耐朽性が大きいこと、その耐朽性は乾湿が繰り返される環境下でもある程度持続すること、さらに、土台として使用する場合の荷重に対しても十分な強度を持つことが明らかとなったことから、黒心材は住宅において耐朽性が要求される土台や塀等の外構材としての利用が期待できる。

V 引 用 文 献

- (1) 遠藤啓二郎・高橋宏成・菊池則男(2001)スギ黒心材の有効利用に関する研究. 福島県林業研究センター研究報告 34 : 163 - 174
- (2) 三好誠治・村口良範(1998)スギ正角の選別による乾燥について. 愛媛県林業試験場研究報告 19 : 65-69.
- (3) 木材工業ハンドブック編集委員会(1994)木材工業ハンドブック改訂3版. 1084pp, 丸善東京.

短 報

山形県における花粉症に有効なスギの選抜 —アレルゲン含量と雄花着生量の測定結果—

渡部公一・高橋裕一¹⁾・小野瀬浩司・安部悦子²⁾・沼澤聡明³⁾・會田健⁴⁾・最上久美子⁵⁾

Selection of Japanese Cedar which is effective against pollinosis reduction
in Yamagata Prefecture

—A measurement of the amount of Pollen allergen and the volume of male flowers—

Koichi WATANABE, Yuichi TAKAHASHI, Koji ONOSE, Etsuko ABE, Toshiaki NUMAZAWA,
Ken AITA, Kumiko MOGAMI

要旨：花粉に含まれるアレルゲン（Cryj 1）含量の年次変動を明らかにするとともに、山形県の採種園を構成している精英樹クローンの花粉単位当たりの Cryj 1 含量と雄花着生量を測定し、花粉症に有効なスギの選抜を試みた。Cryj 1 含量には年次変動が認められたが、比較的含量が少ないクローンについては安定した値を示しており、低アレルゲンのクローンの選抜が有効であることが示唆された。また、精英樹の Cryj 1 含量には 14 倍もの大きなクローン間差が認められ、これに雄花着生量と成長特性を勘案して花粉症に有効な 7 クローンを選抜した。これらのクローンのみで採種園を造成すると、生産されるアレルゲン量は約半分になると試算された。

I はじめに

スギ花粉症は日本における最も深刻なアレルギー疾患であり、大きな社会問題である。林野庁はじめ関係機関では、少しでも花粉飛散を食い止めようと様々な対策を検討しているが、高齢級に達した林分がますます増加している中で、短期間に大幅に花粉量を低減させることは極めて難しい状況にある。花粉発生源対策は社会的にも重要課題と捉えられている一方、スギは林業経営においても環境財としても欠かすことのできない樹種であるため、育種的な手段を用いて次代のスギを花粉飛散の少ないものに替えていくことが必要とされている。

現在、花粉症対策品種の開発には、独立行政法人 森林総合研究所林木育種センターが中心とな

って選抜を進めてきた「花粉の少ないスギ品種」と、平ら¹⁾が初めて発見した「雄性不稔スギ」を利用した品種開発の 2 つの方向がある。この中で、「花粉の少ないスギ品種」は全国で 131 品種あり²⁾、先進地域ではすでに挿し木苗木や採種園産の種子による苗木生産が行われている。「花粉の少ないスギ」は次代検定林調査によってある程度の造林特性が明らかにされている精英樹の中から選抜されているため、すぐに増殖し普及できるというメリットがある。山形県が属する東北育種基本区西部育種区においても、ミニチュア採種園を造成できる数の「花粉の少ないスギ品種」が開発されているが、この中で山形県由来の品種は「田川 4 号」の 1 本のみであり、今までの調査結果を見る限り、山形県の精英樹から新しい品種が追加選抜される期待は薄い。また同じ育種区内の近県から

1) 元衛生研究所 2) 村山総合支庁生活衛生課 3) 衛生研究所理化学部 4) 環境科学センター水環境部
5) 衛生研究所生活企画部

選抜された品種は、山形県内の次代検定林（実生）での成績があまり良くないのに加え、はじめから山形県で検定されていないものが多い⁽³⁾。湿った重い雪が降る山形県において、このような品種を安易に導入することは危険であり、このため現在ある少花粉品種を用いて県内向けに採種園を造成するとすれば、造林木としての成長等の形質が低下することを考慮する必要がある。

ところで、スギ花粉症の原因となる主要アレルゲンはCryj1とCryj2がよく知られているが、花粉単位当たりのCryj1含量には大きなクローン間差が認められ、また遺伝率の高いことが明らかにされている^(4,5)。そこで、本研究では精英樹のCryj1の含量と雄花着生量を測定し評価することで、山形県の採種園への導入実績のあるスギの中から花粉症に有効な品種を選抜することを主目的とした。

また、厳しい多雪環境下にある山形県において、恒常的に発生する根曲りは製材歩止まりに直結する林業経営上最も重要な形質の一つであり、このため根曲がりの少ないスギの選抜が昭和40年代に実施され、次代検定が行われてきた。その結果、今のところ山形県選抜のスギで13クローンが雪害抵抗性品種となっており、今後の調査によって追加される可能性もある。根曲がりが少ないスギは高い林業生産性の向上が見込まれることから、ミニチュア採種園の造成に向けてクローンの増殖が始められており、次世代の育種の主要品種になると考えられる。しかし、花粉症に対するデータの蓄積は皆無であることから、今後の資料とするため、保存されている雪害抵抗性候補木のうち、花粉が採取できるものについてCryj1量を測定した。

また、これらの試料採取と測定は複数年に亘って行ったため、採取年及び測定年によって極端な違いがある時はデータを補正する必要がある。その確認の意味も含めて同一個体から毎年花粉を採取し、Cryj1含量の年次変動を調べた。

Ⅱ 材 料 と 方 法

1. 雄花の採取

1) 複数年に亘る同一個体からの雄花採取

Cryj1含量の年次変動を調べるため、2004年から

2008年までの5年間、当センターに並木状に植栽されているスギ17本のスギから毎年3月に雄花着生枝を採取した。ただし雄花が着生しないなどの理由で、年度により2～5本の欠測がある。

2) 精英樹からの雄花採取

精英樹クローンのCryj1含量を計測するため、鶴岡市羽黒町のスギ採種園及び採穂展示園において雄花着生枝を採取した。採取した年次とクローン名を表-1に示す。山形県の採種園（一部採穂台木を含む）に導入されている、ほぼすべての精英樹（一部地域品種を含む）のアレルゲン含量を測定した。花粉症に有効な品種を確定するだけであれば、既存の資料により雄花着生の多いクローンを初めから除外することも考えられる。しかし雄花着生量が多くてもアレルゲン含量が低いクローンは採種園の花粉樹として利用する可能性が考えられ、また既存採種園と比較した改良効果を試算することもできるため、できる限り測定クローン数を多くした。花粉の採取は、種子採種のために前年の7月に剥皮埋め込み法によりジベレリン処理（1本当たり50mg）を施した採種園から行っており、基本的には同じ個体から重複して採取はしていない。

3) 雪害抵抗性候補木からの花粉採取

花粉は採穂台木形式でクローン保存を行っている採穂展示園にジベレリン(GA3)100ppmを噴霧し、雄花を着花させて2007年から2008年に採取した。山形県で選抜した雪害抵抗性候補木は78クローンであるが、ラメート数が少なかったり着花しないラメートがあったため、測定できたのは55クローンで延べ214本であった。

2. 花粉の調整

採取した枝にはグラシン袋をかけて室内において水挿しし、雄花を開花させて花粉を採取した。採取した花粉はシリカゲルと共存させ、4℃の冷蔵庫で保管した。測定時にスギ花粉を40～50mgに正確に秤量し、0.125M重炭酸アンモニウム液を加え16mg/mlの濃度に調整し、室温で8時間浸騰抽出を行った後に、4℃でさらに64時間静置して抽出した。一度攪拌した後に3000rpm、30分の遠心分離器で上清を分離し測定に用いた。

3. Cryj1量の定量

定量法はサンドイッチELISA法とした。5μg/

表-1 雄花を採取した精英樹クローンとラメート数

クローン	2003	2004	2005	2006	2007	2008	計	回数
酒田3号			5	5	3		13	3
鶴岡1号		5		2	3	3	13	4
真室川1号			5				5	1
山形1号				5		3	8	2
東南置賜1号		5		5	3	3	16	4
東南置賜2号		5		5			10	2
東南置賜3号		5			3		8	2
東南置賜4号			5				5	1
東南置賜5号	5	5			3		13	3
東南置賜6号	5	5	10				20	3
東南置賜8号			5			2	7	2
西置賜1号		5		5	3	3	16	4
西置賜2号	4	5	10	1			20	4
西置賜3号			5			3	8	2
東南村山1号			5	5	2		12	3
東南村山2号			5				5	1
東南村山3号			5				5	1
東南村山4号			5				5	1
西村山1号		5			3		8	2
西村山2号		5		1			6	2
西村山3号		5		5			10	2
西村山5号				5			5	1
北村山1号		4		5	3		12	3
北村山2号			5	5	3	3	16	4
北村山3号			5				5	1
最上1号		5					5	1
最上2号		5	10		3		18	3
最上3号			5	5	3	3	16	4
最上4号	4	5			3	3	15	4
最上5号			5			1	6	2
田川1号		5	10	5	3		23	4
田川2号		5		1	3	3	12	4
田川3号	4	5			3		12	3
田川4号		5			3	3	11	3
田川5号			5				5	1
飽海1号			5				5	1
飽海2号		5	10	5			20	3
飽海3号		5		2	3		10	3
飽海4号	4	5	10	5			24	4
飽海5号		5		1	3		9	3
能代1号		5			3		8	2
能代4号		5			3		8	2
秋田1号				5	3		8	2
能代106号				2			2	1
鹿角3号				2			2	1
鹿角4号			4			3	7	2
北秋田1号	2	2	1	5		2	12	5
北秋田8号					1		1	1

クローン	2003	2004	2005	2006	2007	2008	計	回数
北秋田13号					1		1	1
南秋田3号				5			5	1
由利3号				3	2		5	2
由利5号				4			4	1
由利6号				1			1	1
由利9号				2			2	1
仙北3号					2		2	1
仙北5号				1			1	1
仙北9号				1	1		2	2
雄勝1号	2	5			3	3	13	4
雄勝2号				4	2		6	2
雄勝8号					1		1	1
雄勝9号				3			3	1
雄勝16号				1			1	1
雄勝19号				1			1	1
山本2号					2		2	1
山本3号					1		1	1
平鹿1号					2		2	1
平鹿2号					2		2	1
村松1号	6	5				3	14	3
村松4号			5				5	1
長岡1号				7			7	1
長岡2号		5		5			10	2
長岡3号				4			4	1
長岡4号				3			3	1
高田4号			5				5	1
岩船3号			5	5			10	2
岩船4号			5	5			10	2
岩船5号				5			5	1
岩船8号			5				5	1
岩船11号				2			2	1
村上市5号				3			3	1
東蒲原1号				4			4	1
東蒲原2号				4			4	1
南蒲原1号				5			5	1
南蒲原2号		5					5	1
北蒲原1号				1			1	1
北蒲原2号				5			5	1
三島4号				2			2	1
南魚沼2号				3			3	1
東頸城1号				5		3	8	2
中頸城3号				3			3	1
中頸城6号			5				5	1
糸魚川1号		5					5	1
糸魚川2号		5					5	1
東田川特1号		5	10				15	2
月山スギ				5			5	1
山内スギ				6			6	1
総計	28	126	140	92	66	38	490	

ml 濃度のマウス抗 Cryj1 抗体 (Mab013) 100 μ g を ELISA (NUNC) プレートに 37°C で 2 時間吸着し、5 %BSA でブロッキング処理を行った。0.05M リン酸緩衝食塩水 pH7.6 (PBS と略) で 3 回洗浄した後に、適当に希釈した Cryj1 標準液あるいは花粉抽出液の 100 μ l を添加し、さらにペルオキシターゼ標識抗 Cryj1 抗体 (Mab053) の 1000

倍希釈溶液の 100 μ l を加え 25°C で 4 時間酵素抗体反応させた。PBS で 3 回洗浄後 3, 3', 5, 5'-テトラメチルベンジンを 100 μ l 添加して 25°C で 30 分反応させて発色させ、450nm の吸光度を測定した。標準抗原として日本アレルギー学会から提供された Cryj1 標準液を使用した。

4. 精英樹の雄花着生量の調査

花粉を採取した精英樹の採種園については、雄花の着生量調査を採種木で行った。調査は 2004 年から 2008 年にかけて行い、延べ 2783 本である。評価の方法は「精英樹クローン特性評価のための調査要領」(昭和 58 年 3 月 12 日付け東育第 44 号)に従い、着生が全くないかほとんど見られないものを 1、標準的な着生量のものを 3、非常に多いものを 5 とする 5 段階の目視評価とした。また、調査したスギの中から評価値が均等になるように 60 本を任意に選び、その個体の中で平均的に雄花が着生している一枝を採取した。そして茶色に木化している部分を除いた枝葉部分と、雄花に分け、それぞれの乾燥重量を測定した。このデータを基にそれぞれの評価値に該当する雄花の重量割合を示す近似式を導き(図-1)、雄花着生評価値に対応する雄花量(葉重量に対する雄花の割合)を計算した。

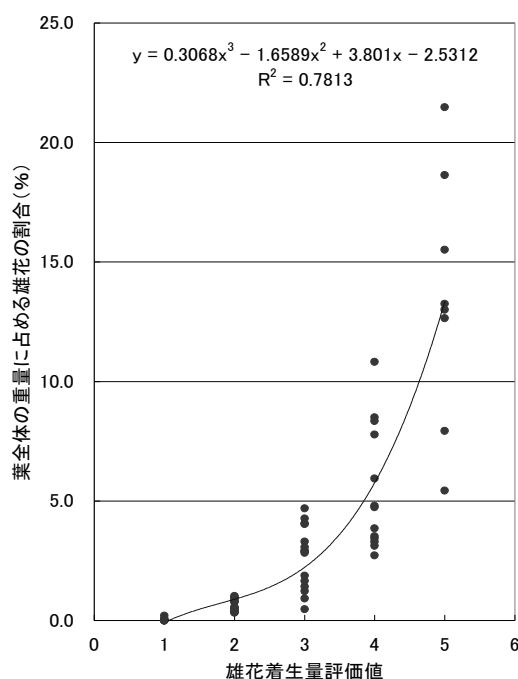


図-1 雄花着生量評価値と雄花量

5. データの解析

調査によって得られた Cryj1 含量と雄花着生量のデータについては、平均値をクローンと調査年次を要因とする分散分析を行い、その過程で計

算された最小二乗推定値を統計の評価に用いた。この計算には、検定林分散分析プログラム Lsab02bv⁽⁶⁾を使用した。計算された最小二乗推定値を基に精英樹特性表⁽³⁾で用いられている表-2の基準によってクローンごとに5段階にランク付けした。また最小二乗推定値を全体の平均値で除した値をそれぞれアレルゲン指数、雄花着生指数とした。これらの値は1を平均として、アレルゲン含量及び雄花着生量が少ないほど小さくなる。

表-2 特性評価基準

評価値	最小二乗推定値の範囲	
非常に優れる 5	$\mu + 1.5\sigma$ 以上	
優れる 4	$\mu + 0.5\sigma$ 以上	$\mu + 1.5\sigma$ 未満
普通 3	$\mu - 0.5\sigma$ 以上	$\mu + 0.5\sigma$ 未満
やや劣る 2	$\mu - 1.5\sigma$ 以上	$\mu - 0.5\sigma$ 未満
劣る 1	$\mu - 1.5\sigma$ 未満	
μ : 平均値		σ : 標準偏差

Ⅲ 結果と考察

1. 同一個体のスギのアレルゲン含量の年次変動

当センターの任意のスギ 17 本の 5 年間の Cryj1 測定値と分散分析表を図-2、表-3に示す。年次間、クローン間でいずれも有意差が認められた。Cryj1 含量は気象条件や植栽場所などの環境要因から影響を受けることが認められている^(7,8,9)。今回の測定結果においても、年次間の変異が大きいクローンと小さいクローンがあった。しかし D, F, G, H の個体のように Cryj1 含量が低いクローンは相対的に安定した値を示し、佐々木⁽⁷⁾の報告と同様の傾向が認められた。後藤⁽⁹⁾は気象要因、とくに花粉が発達する期間の降水量が Cryj1 含量に影響を与える可能性を指摘しているが、低アレルゲンのクローンはそれらの影響を受けにくいと

表-3 同一個体のCryj1含量の分散分析表

要因	自由度	平方和	平均平方	分散比
年次	4	1,079,818.00	269,954.50	5.271 **
クローン	16	3,058,734.81	191,170.93	3.732 **
誤差	50	2,560,950.86	51,219.02	

** : 1%水準で有意であることを示す

推測された。

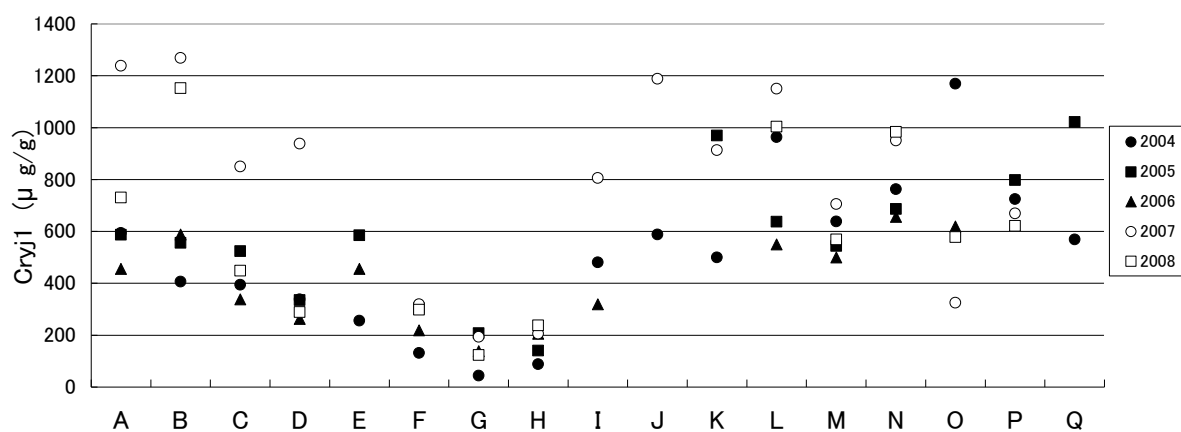


図-2 同一個体のCryj1含量の年次変動

2. 精英樹からの花粉症に有効な品種の選抜

1) アレルゲン含量の測定

クローン毎の分散分析表を表-4に、分散分析の結果得られた最小二乗推定値と5段階の評価値を表-5に、最小二乗推定値の度数分布を図-3に示す。測定した年次間では1%水準で、クローン間では5%水準で有意差が認められた。アレルゲン含量の平均は353.15 $\mu\text{g/g}$ で、最小のクローンと最大のクローンとは14倍の差があった。測定の結果、山形県の採種園を構成しているスギのCryj1含量は300~400 $\mu\text{g/g}$ を中心とした正規分布となっており、含量のレベルは既報(4,5,7,9,10)の測定結果と大きく変わらず、分布の傾向も一致する。

表-4 測定した精英樹のCryj1含量の分散分析表

要因	自由度	平方和	平均平方	分散比
年次	4	1,079,818.00	269,954.50	3.688 **
クローン	16	3,058,734.81	191,170.93	1.389 *
誤差	50	2,560,950.86	51,219.02	

** : 1%水準で有意 * : 5%水準で有意であることを示す

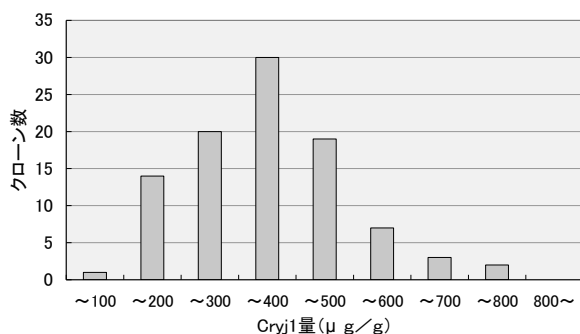


図-3 測定した精英樹のCryj1含量の分布
(最小二乗推定値)

2) 雄花着生量の調査

測定した雄花着生量の本数、評価値及び雄花量(葉重量に対する雄花の割合)を表-6に示す。調査はジベレリン処理を行った採種園で行っており、測定したクローンのうち、北秋田1号と田川4号は国が認定している「花粉の少ないスギ」である。雄花量の全平均が1.48であったのに対し、北秋田1号の着生量は0.31と群を抜いて少なかったが、田川4号は1.77でやや多いと評価された。雄花着生量はジベレリン処理に対する感受性の違いや処理時期等の影響を受けると推測されるため、自然状態の着花量と異なった例と考えられる。またジベレリン処理により自然状態の着花状態に比べて個体差が小さくなる傾向がある。本来であれば次代検定林等において自然状態での調査を行った方が良いと考えられるが、樹冠が閉塞した林分では雄花量が総じて少なく、ギャップ等による光環境の影響が強くなるなど別の要因が考えられるため、正確な調査が困難である。このため、雄花着生量による効果を過小評価している可能性があるが、ジベレリン処理においても雄花着生量の少ないクローンは自然状態でも少ないと考えられることから、この研究の目的とするクローンの選抜に問題はないと判断した。

3) 花粉症に有効な品種の選抜

花粉症に対する寄与度を花粉生産量と花粉に含まれるアレルゲン量の積であると仮定し、アレルゲン指数と雄花着生指数を乗じて、総アレルゲン指数とした。ただしデータの信頼度を確保するため、アレルゲン含量について反復測定できなかったクローンは評価から外した。評価対象とした41

表－5 測定した精英樹のCryj1含量の最小二乗推定値(μ g/g花粉)と評価値

クローン	回数	最小二乗推定値	評価値	クローン	回数	最小二乗推定値	評価値
酒田3号	3	192.45	4	北秋田13号	1	168.39	4
鶴岡1号	4	162.27	4	南秋田3号	1	536.70	2
真室川1号	1	353.80	3	由利3号	2	182.53	4
山形1号	2	477.13	2	由利5号	1	352.50	3
東南置賜1号	4	354.72	3	由利6号	1	454.50	2
東南置賜2号	2	435.69	2	由利9号	1	279.00	3
東南置賜3号	2	311.53	3	仙北3号	1	55.89	5
東南置賜4号	1	439.00	2	仙北5号	1	485.50	2
東南置賜5号	3	423.89	3	仙北9号	2	398.94	3
東南置賜6号	3	308.26	3	雄勝1号	4	595.27	1
東南置賜8号	2	384.87	3	雄勝2号	2	251.82	4
西置賜1号	4	306.50	3	雄勝8号	1	274.39	3
西置賜2号	4	360.61	3	雄勝9号	1	231.17	4
西置賜3号	2	328.56	3	雄勝16号	1	279.50	3
東南村山1号	3	311.93	3	雄勝19号	1	604.50	1
東南村山2号	1	399.60	3	山本2号	1	152.89	4
東南村山3号	1	189.80	4	山本3号	1	149.39	4
東南村山4号	1	150.60	4	平鹿1号	1	115.39	4
西村山1号	2	418.03	3	平鹿2号	1	174.89	4
西村山2号	2	428.59	3	村松1号	3	610.02	1
西村山3号	2	377.19	3	村松4号	1	226.20	4
西村山5号	1	416.70	3	長岡1号	1	389.21	3
北村山1号	3	310.25	3	長岡2号	2	446.49	2
北村山2号	4	202.70	4	長岡3号	1	177.50	4
北村山3号	1	600.40	1	長岡4号	1	404.17	3
最上1号	1	387.88	3	高田4号	1	253.80	4
最上2号	3	398.91	3	岩船3号	2	257.95	4
最上3号	4	247.93	4	岩船4号	2	381.85	3
最上4号	4	477.37	2	岩船5号	1	251.50	4
最上5号	2	389.08	3	岩船8号	1	387.40	3
田川1号	4	296.43	3	岩船11号	1	326.00	3
田川2号	4	568.56	2	村上市5号	1	293.50	3
田川3号	3	473.85	2	東蒲原1号	1	557.25	2
田川4号	3	554.16	2	東蒲原2号	1	334.00	3
田川5号	1	317.20	3	南蒲原1号	1	552.90	2
飽海1号	1	796.80	1	南蒲原2号	1	552.68	2
飽海2号	3	269.03	4	北蒲原1号	1	179.50	4
飽海3号	3	420.52	3	北蒲原2号	1	225.70	4
飽海4号	4	289.18	3	三島4号	1	354.00	3
飽海5号	3	482.32	2	南魚沼2号	1	752.17	1
能代1号	2	451.43	2	東頸城1号	2	392.03	3
能代4号	2	417.97	3	中頸城3号	1	312.50	3
秋田1号	2	367.28	3	中頸城6号	1	340.60	3
能代106号	1	354.00	3	糸魚川1号	1	415.08	3
鹿角3号	1	216.50	4	糸魚川2号	1	161.48	4
鹿角4号	2	291.00	3	東田川特1号	2	263.94	4
北秋田1号	5	423.37	3	月山スギ	1	269.10	4
北秋田8号	1	193.39	4	山内スギ	1	361.50	3

表－6 雄花着生量の調査本数と評価値及び雄花量（葉重量に対する雄花割合）

	調査本数						雄花着生評価値					最小二乗 推定値	葉重量に 対する 雄花の割合
	2003	2004	2005	2006	2007	計	2003	2004	2005	2006	2007		
酒田3号		13	15	10		38		2.46	2.67	2.70		2.43	1.31
鶴岡1号	28		16	6	19	69	2.18		2.88	3.17	2.42	2.67	1.63
山形1号			11	11		22			2.55	2.18		2.12	0.99
東南置賜1号	28		17	18	20	83	1.86		2.88	2.56	2.25	2.40	1.28
東南置賜2号	19	14	11	8	15	67	2.26	2.86	3.00	2.88	2.33	2.67	1.62
東南置賜3号	25	11	21	8	18	83	2.04	2.73	2.48	2.50	2.06	2.36	1.23
東南置賜5号	31	16	15	13		75	2.13	2.50	2.73	2.62		2.47	1.36
東南置賜6号	25	15	16	9	35	100	1.92	2.53	2.63	2.78	2.37	2.45	1.33
東南置賜8号	3	10			3	16	2.00	2.40			3.33	2.74	1.74
西置賜1号	24	12	13	8	18	75	1.96	2.58	2.46	2.50	2.33	2.37	1.24
西置賜2号	24	14	15	11	15	79	1.63	2.21	2.60	2.91	2.00	2.27	1.14
西置賜3号			13			13		2.62				2.57	1.49
東南村山1号	5	13	13	8	4	43	1.40	2.38	2.46	2.38	2.50	2.22	1.09
西村山1号	17	13	17	11	10	68	2.35	2.54	3.00	2.91	2.70	2.70	1.68
西村山2号	14	17	14	16	8	69	2.00	1.82	2.79	2.63	2.00	2.25	1.11
西村山3号	25	13	12	22	18	90	2.88	3.23	3.17	3.45	2.94	3.14	2.53
西村山5号	2		14	19	1	36	2.00		3.07	2.63	2.00	2.44	1.32
北村山1号	5	11	13	13	2	44	2.40	3.00	2.85	2.92	3.00	2.83	1.90
北村山2号	6	11	11	4	5	37	2.00	2.73	2.64	2.75	2.40	2.50	1.40
最上1号	13	12	19	11	5	60	1.54	2.67	1.95	2.18	2.40	2.15	1.02
最上2号	8	13	11	12	7	51	2.25	2.85	2.45	2.08	2.14	2.36	1.23
最上3号	6	15	9	11	3	44	1.33	2.60	3.00	2.36	2.67	2.39	1.27
最上4号	24	15	19	15	16	89	1.50	2.00	3.53	2.53	1.81	2.27	1.14
最上5号	2	15			1	18	2.50	2.53			2.00	2.51	1.41
田川1号	14	15	18	21	10	78	1.86	2.53	2.89	2.95	2.20	2.49	1.38
田川2号	22	15	8	19	15	79	2.59	3.00	3.13	3.00	2.87	2.92	2.05
田川3号	19	15	18	16	13	81	2.53	2.67	2.39	2.88	2.46	2.58	1.51
田川4号	9	10	4	6	5	34	2.00	3.00	3.00	3.00	2.80	2.76	1.77
飽海1号		13				13		2.31				2.26	1.13
飽海2号	28	12	14	12	21	87	2.29	2.00	2.43	2.08	2.24	2.21	1.08
飽海3号	16	14	11	12	11	64	2.38	2.86	2.82	3.00	2.73	2.76	1.77
飽海4号	24	12	14	14	20	84	2.25	2.42	2.79	3.29	2.15	2.58	1.50
飽海5号	20		7	12	11	50	1.55		2.57	2.33	2.09	2.15	1.02
能代1号	25		7	10	15	57	3.00		2.86	2.80	3.27	2.99	2.21
能代4号	13		10	4	10	37	2.08		2.70	3.00	1.90	2.43	1.31
秋田1号			11	6		17			3.09	3.00		2.80	1.84
鹿角4号	3	6			1	10	1.33	1.83			3.00	2.22	1.09
北秋田1号	22	13	16	12	14	77	1.14	1.08	1.44	1.83	1.14	1.33	0.31
雄勝1号	26	11	17	10	18	82	1.46	2.45	1.94	2.20	1.89	1.99	0.88
村松1号	26	13	18	15	18	90	2.58	3.00	3.22	3.20	2.72	2.94	2.11
村松4号		11				11		2.36				2.32	1.18
長岡1号	27				18	45	2.56				2.67	2.88	1.99
長岡2号	19		11	6	13	49	1.37		2.82	2.50	2.23	2.24	1.11
高田4号		15				15		3.33				3.29	2.93
岩船3号	1	11	18	5		35	2.00	3.00	3.50	2.80		2.80	1.85
岩船4号		13	14	12		39		2.62	2.21	2.75		2.35	1.22
岩船8号		12				12		2.33				2.29	1.15
南蒲原1号					18	18					2.56	2.64	1.59
南蒲原2号	26	13				39	2.23	2.69				2.66	1.62
東頸城1号	9		17	11	8	45	1.33		1.82	2.09	2.00	1.82	0.74
中頸城6号		14	1	1		16		2.57	4.00	3.00		3.01	2.25
糸魚川1号	9		16	10	6	41	1.78		2.69	2.90	2.33	2.44	1.32
糸魚川2号	16		8	10	11	45	2.56		3.38	3.20	2.82	3.00	2.23
東田川特1号	18	13	11	7	15	64	2.67	2.92	3.00	3.29	2.80	2.94	2.09
合計	726	517	571	475	494	2783	2.09	2.56	2.70	2.72	2.37	2.51	1.48

クローンの総アレルゲン指数の変異は最小が0.23, 最大が2.25であって、表－2の基準による評価値が5となるクローンはなかった。評価値が4となるクローンを表－7に示す。このうち「東北育種基本区精英樹特性表」⁽³⁾の山形県内の実生次代検定林における成長特性（生存率、樹高、胸高直径、傾幹幅）の中に2以下の劣っているものが含まれているクローンを除いて、花粉症に有効

な品種とした。これらの選抜した7クローンを均等に配置して採種園を造成すると、総アレルゲン指数の平均は0.541となる。既存の採種園を構成するクローンの本数に総アレルゲン指数を乗じて算出した加重平均値は0.975であり、あくまでも遺伝特性や交配の偏りなどを無視した単純な試算であるが、新しく採種園を作った場合は総アレルゲン量が約47%低減すると試算される。

表－7 花粉症に有効な有効な精英樹

	Cryj1量 最小二乗推定値	a÷μ	雄花着生量	c÷μ	総アレル ゲン指数	総アレル ゲン 評価値	生存 率	樹高	胸高 直径	傾幹 幅
	(a)	(b)	(c)	(d)	(b×d)					
北秋田1号	423.37	1.11	0.31	0.20	0.23	4	4	2	2	4
酒田3号	192.45	0.50	1.31	0.87	0.44	4	4	3	3	3
鶴岡1号	162.27	0.42	1.63	1.09	0.46	4	4	3	3	3
北村山2号	202.70	0.53	1.40	0.93	0.50	4	4	3	3	3
飽海2号	269.03	0.70	1.08	0.72	0.50	4	3	3	2	3
東頸城1号	392.03	1.03	0.74	0.50	0.51	4	(4)	(4)	(4)	(4)
最上3号	247.93	0.65	1.27	0.85	0.55	4	3	3	3	3
鹿角4号	291.00	0.76	1.09	0.73	0.55	4	(2)	(2)	(3)	3
東南村山1号	311.93	0.82	1.09	0.73	0.59	4	3	2	2	3
西置賜1号	306.50	0.80	1.24	0.83	0.66	4	3	3	3	3
東南置賜3号	311.53	0.81	1.23	0.82	0.67	4	3	3	3	3
平均(μ)	382.43		1.50							

・網掛した7クローンが選抜クローン

・評価値の()書きは、秋田または新潟県内での評価値であることを示す

表－8 雪害抵抗性候補木のCryj1含量

クローン名		調査本数		Cryj1量	評価値	クローン名		調査本数		Cryj1量	評価値
		H19	H20					H19	H20		
耐雪山形県	2号	4	2	274.41	3	耐雪山形県	37号	4		593.75	2
	3号	3		137.67	4		38号	1		763.00	1
	4号	5		168.80	4		39号	4		278.00	3
	5号	5		247.60	4		40号	2		237.50	4
	6号	1		125.00	4		41号		2	584.67	2
	7号	3		177.00	4		43号	6	3	142.47	4
	8号	7		177.14	4		44号	4		156.25	4
	9号	2		90.50	4		49号	2		166.00	4
	11号	7		162.57	4		50号	1	2	366.10	3
	15号	1		200.00	4		51号	3		191.67	4
	16号	4		98.50	4		52号	7	4	416.53	3
	17号	4	1	271.58	3		53号	2	1	630.27	2
	19号	3		304.33	3		54号	1	1	202.79	4
	20号	3		537.67	2		55号	4		215.75	4
	21号	7	4	504.75	2		56号	4		380.00	3
	22号	4		234.75	4		57号	3		164.67	4
	24号	6		208.33	4		58号	3		1031.33	1
	25号	7		367.86	3		59号	3		592.00	2
	27号	5		375.20	3		60号	4		726.50	1
	28号	4		161.25	4		61号	2		462.50	3
耐雪山形県	29号	1		269.00	3		62号		1	375.10	3
	30号	8		627.50	2		64号		4	510.15	2
	31号	5		441.20	3		65号		3	513.98	2
	32号	4		469.00	2		66号		1	494.06	2
	33号	3		456.67	3		67号		5	604.57	2
	34号	1		625.00	2		68号		3	220.47	4
	35号	1	3	423.47	3		70号		3	475.49	2
	36号	1	2	445.69	3						

・網掛けはH20までに確定された雪害抵抗性確定クローン

3. 雪害抵抗性候補木のアレルゲン含量

雪害抵抗性候補木については、本研究の中で雄花着生量についてもクローン特性を明らかにしたかったが、調査に耐えうる採種園等が無いため、アレルゲン (Cryj1) 含量だけを測定した。測定データを表—8に示すが、ごく一部のクローンを除くと単年度しか測定しておらず、反復数もまちまちである。そのため今後の調査によりデータを補完していく必要がある。

IV おわりに

本研究では、山形県ですでに採種用のスギとして導入されているスギの中から、花粉に含まれる Cryj1 含量と雄花着生量を測定し、花粉症に対して有効と考えられるクローンの選抜を試みた。スギの主要アレルゲンとしては Cryj1 のほかに Cryj2 が知られており、アレルゲン量の評価は Cryj2 についても測定し、トータルで評価するのが理想的である。しかし福田ら⁽¹⁰⁾の報告によれば、Cryj1 と Cryj2 の含量には有意な正の相関が認められており、Cryj1 量が少ないクローンはかなりの確率で総アレルゲン量が少ないと思われる。試料の偏りや雄花着生量の変異が予想よりも小さかったことなど手法に反省すべき点も多いが、今後につながる貴重なデータを得ることができた。

現在の規定では、新品種として認められる「低アレルゲンスギ」は、国が認めた「花粉の少ないスギ」であることが条件であり、今回測定した上位クローンがすぐに新品種とはならない。しかし今回選抜したクローンを導入することによって、林業的な特性を下げることなく、総アレルゲン量が約半分に抑えられるとすると、特に都市周辺のスギ林を対象として広めていく価値は十分にあると考えられる。さらに、今までに開発された「花粉の少ないスギ」や、今後の研究の進展が予想される「無花粉スギ」の種子生産においては、アレルゲン含量が低いスギを花粉樹として採種園に導入することで、より高い効果が期待できると考えられる。

V 引 用 文 献

- (1) 平英彰・寺西秀豊・剣田幸子 (1933) スギ雄性不稔について. 日林誌 75(4) : 377-379
- (2) 林野庁 (2008) 林業種苗の概要 平成 20 年度版. 研究・保全課緑化資材班
- (3) 林木育種推進東北地区協議会 (2003) 東北育種基本区スギ精英樹特性表
- (4) 斎藤真己・寺西秀豊・平英彰 (2003) 全国 25 道県におけるスギ花粉アレルゲン—Cryj1—量の変異と遺伝率の推定. 日林誌 85(4) : 312-317
- (5) 福田陽子 (2005) スギアレルゲンとヒノキ雄花着花量の遺伝変異. 林木の育種 216 : 24-25
- (6) 宮浦富保 (1998) 検定林データの分散分析プログラム. 林育研報 15 : 251-258
- (7) 佐々木揚 (2007) 低アレルゲンスギの系統選抜に関する研究. 秋田県森技研報 17 : 71-82
- (8) 後藤陽子・近藤禎二・安枝浩 (2001) 植栽場所の違いがスギ花粉中の Cryj1 含量に及ぼす影響. 日本花粉学会大会講演要旨集 42 : 35
- (9) 後藤陽子 (2005) スギにおける花粉アレルゲンの遺伝的変異に関する研究. 林育研報 21 : 1-66
- (10) 福田陽子・高橋誠・武津英太郎・近藤禎二・栗延晋 (2007) 関東育種基本区のスギ精英樹におけるアレルゲン含量のクローン間変異. 林育研報 23 : 37-51

短 報

庄内海岸砂丘地におけるニセアカシアの除草剤による駆除方法

志斎和貴 渡部公一

Development of control method of *Robinia pseudo-acacia* L. in Shonai coastal dune region

Kazuki shisai Koichi watanabe

要旨：山形県の庄内砂丘地域において、侵入したニセアカシアの除草剤による駆除方法を検討した。ニセアカシアの駆除は、刈払いのみで実施するよりも除草剤を使用した方が効果が高いことが分かった。さらに、ニセアカシアの伐採および除草剤を散布する時期は、伐採してから4週以降で萌芽の最大樹高が 1.5mに達する前に行うのが望ましく、ニセアカシアの成長速度などを考慮すると、7月下旬から8月上旬に伐採し9月中に除草剤を散布するのがよい。

I は じ め に

山形県の庄内砂丘は、南北の延長 33 km にわたり、その汀線部には最大 2 km の幅で江戸時代からクロマツが植林され、整然とした防災林帯が形成されている。クロマツは、高木性、深根性、耐貧栄養、耐乾燥、耐潮という特徴から、庄内海岸地域に最も適した防災効果の高い樹種である。このクロマツ防災林によって庄内砂丘地の住民生活と農業が飛砂・潮・強風等の害から守られてきた⁽⁶⁾。しかし、全国的に猛威を奮いながら北上してきた松材線虫病が 1979 年に発生すると、1990 年代に入ってから特に目立つようになった。現在も関係機関による懸命の防除が続けられているが、未だに終息していない。

松材線虫病被害によって林冠が消失した林分では、先駆樹種であるニセアカシアの侵入が著しい。ニセアカシアは、北米原産の外来植物であり、明治時代に緑化植物として導入されたが、日本各地で野生化し、海岸林・溪畔林を中心に生態系への影響が確認されている^(2,8)。その特徴として萌芽能力が非常に高い、他樹木の生育を阻害し単純林を形成しやすい、根粒菌と共生し成長速度が速いこと等が挙げられ⁽³⁾、環境省の要注意外来生物に指定されている。

庄内海岸地域においてもニセアカシアの分布は次第に広がりを見せており、志斎ら⁽⁹⁾が行った庄内海岸砂丘林におけるニセアカシアの侵入状況調査によれば、実に海岸砂丘林全体の約 59%の地域でニセアカシアが確認されている。

庄内海岸地域の潜在植生は、高木性広葉樹であると考えられ⁽⁴⁾、クロマツ林内でもニセアカシアのほか、天然生のカシワ、コナラ、カスミザクラなどが見られる。海岸林には防災機能だけでなく保健休養機能、自然・情操教育の場としての機能、野鳥等の生息場としての機能などの多面的機能が求められているため^(5,7)、クロマツと広葉樹を混交させ多様性の高い海岸林へ誘導していくことが好ましい⁽¹⁾。

しかし、上長成長が旺盛で浅根性のニセアカシアは強風によって根返りを起こしたり、樹幹が折れたりして海岸林の防災機能を低下させるという悪影響を及ぼす。それだけでなく、クロマツ林に侵入したニセアカシアは、その驚異的な成長によって、クロマツを被圧する。クロマツは陽樹であるため被圧に弱く、生存しても樹幹が細く強風に耐えられない樹型になりやすい。

また、クロマツが松材線虫病によって疎開した林地ではニセアカシアが繁茂することで他の

樹種の生育が阻害されるため、極めて貧弱な植生となり易く、多様な海岸林へは移行していかない可能性が高い⁽¹⁰⁾。

このように、ニセアカシアの分布拡大を阻止することは、海岸林を健全に保つために欠かせない重要なポイントである。しかし、ニセアカシアの駆除は、一般に容易でないこととされ、庄内砂丘林ではなかなか進まなかった。

ニセアカシアの駆除は根気強く毎年刈払う方法が基本とされているが、鋭い棘に邪魔をされて伐採・刈払い作業の効率が悪い上に、旺盛な萌芽力のため刈払いの翌年では逆に本数が増えてしまったという話がよく聞かれる。現実的に考えると広大な海岸林のニセアカシアを駆除する上で、刈払いのみでの駆除は限界があるため、効率的な駆除方法を明らかにすることが必要である。そこで、安全性が高く土壌等生態系への影響が少ないとされている非選択性除草剤を使用した駆除試験を行い、ニセアカシアの効率的な駆除方法について検討した。

Ⅱ 試験方法

1. 刈払いと除草剤の防除効果の検証

刈払いと除草剤の駆除効果を検証するため、2004年に10m×10mの試験区を2箇所設定し、刈払い区と除草剤区とした。設定した場所は、飽海郡遊佐町藤崎のクロマツ林内であり、松材線虫病によりクロマツの密度が低下したため、林内が明るく、ニセアカシアが多く侵入している。成立しているニセアカシアの平均樹高は2.6m、成立本数は15,000本/ha程度であった。

除草剤区で使用した薬剤は、ラウンドアップハイロード(有効成分グリホサートアンモニウム塩41.0%，普通物，A類，20,109号)である。これは、安全性が高く、環境への負荷が小さいとされていること、雑草だけでなく灌木類にも適用があり、効果が期待できること、少量散布が可能で、作業員が背負って散布作業を行うのに都合が良いことなどを勘案して選定した。1年目7月に2試験区内の全ての樹木を刈払い、8月に除草剤区にお

いて萌芽したニセアカシアに対して20倍希釈液を手動噴霧器で茎葉散布、2年目以降は7月に刈払い区のみでニセアカシアの刈払いを実施した。それぞれの試験区においてニセアカシアの再生状況を調査し、ニセアカシアに対する防除効果について検討した。

調査は、刈払い前の7月(夏)と刈払い後の9月(秋)にそれぞれ樹高と成立本数を計測した。防除効果は、試験前の本数の5%以下まで減少したときに効果が認められたと判断した。

2. 伐採および除草剤の散布時期の検討

調査地は、2006年に飽海郡遊佐町藤崎のクロマツ林内でニセアカシアが侵入、成長している林分に設定した。ニセアカシアの平均樹高は4.6m、成立本数は4,680本/haである。

試験区は、夏(2006/8/10)にニセアカシアを伐採し、除草剤を散布しない区(夏対照区)、伐採後1週目に散布した区(夏1週区)、伐採後2週目に散布した区(夏2週区)、伐採後4週目に散布した区(夏4週区)、伐採後8週目に散布した区(夏8週区)の5区と冬(2007/1/11)に伐採し、除草剤を散布しない区(冬対照区)、伐採から約6か月後(2007/7/4)に散布した区(冬散布区)の2区を合わせた7区とした。

また、試験区の大きさは、それぞれ5m×15mとした。各試験区における調査項目は、ニセアカシアの萌芽本数、樹高、根元直径である。調査は、除草剤散布前、散布後4週目、2007年6月、2007年9月に実施し、夏対照区と冬対照区は、他区の調査実施日に併せて実施した(表-1)。

なお、使用した除草剤は、前述した除草剤を改良し、吸収移行性を高めたという(メーカーの商品説明)ラウンドアップマックスロード(有効成分:グリホサートカリウム塩48.0%，日産化学)で、200倍希釈液を手動噴霧器を用いて茎葉散布した。

表-1 試験区の伐採と除草剤散布の時期

	伐採時期	除草剤散布時期
夏対照区	H18/8月上旬	無散布
夏1週区	H18/8月上旬	伐採1週後
夏2週区	H18/8月上旬	伐採2週後
夏4週区	H18/8月上旬	伐採4週後
夏8週区	H18/8月上旬	伐採8週後
冬対照区	H19/1月上旬	無散布
冬散布区	H19/1月上旬	H19/7月上旬(萌芽約8週後)

Ⅲ 結 果 と 考 察

1. 刈払いと除草剤の防除効果の検証

1年目の刈払い区では、秋の調査で 33,000 本/ha と本数が倍増した。その後毎年刈払いを実施し、3年目の秋には1,100 本/ha まで減少し、試験前の約 6 %の本数になった（図－1）。

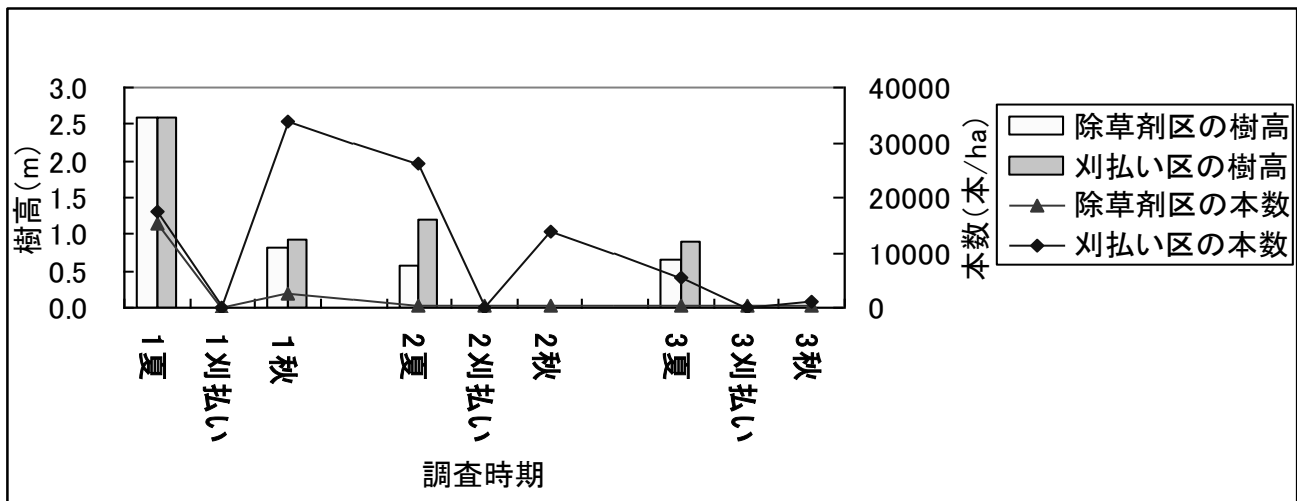
除草剤区では、散布直後から効果が表れ、秋の調査では 2,700 本/ha まで本数を減らし、その後自然枯死などで約 3 %の 500 本/ha まで減少した。さらに、生き残ったニセアカシアは、3年間でほとんど成長せず、平均樹高は 0.6m であった。

よって、樹高 3 m 程度のニセアカシアを駆除するには、夏季の年 1 回の刈払いのみでは、3 年以上かかるが、除草剤を使用すると 1 年でほぼ完全な駆除が可能であることが認められた。さらに、生き残ったニセアカシアは樹勢が低下し、自然枯死するものが多いため、処理から 4 成長期を経た現在においても、新たな個体の発生は見られない。このため、当面の期間は再繁殖する心配がないと思われた。

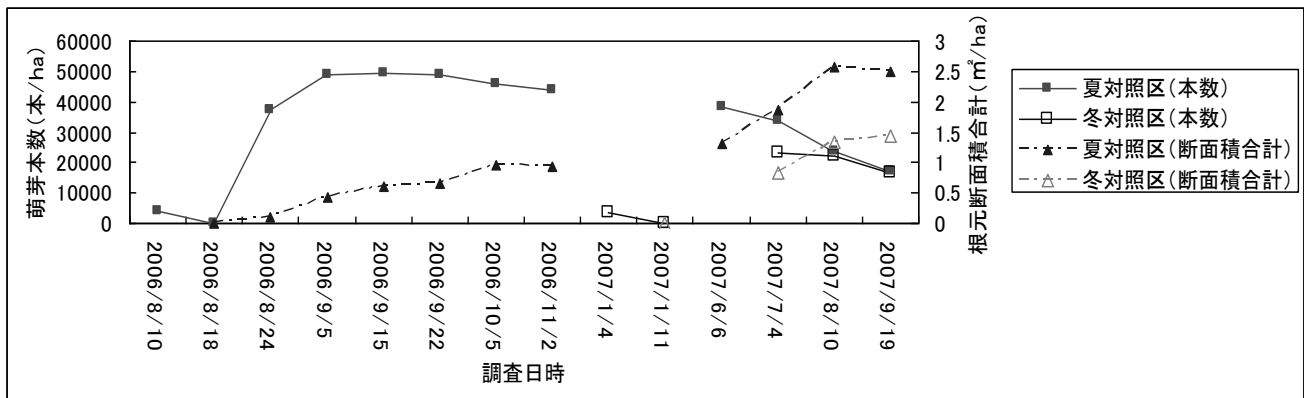
2. 伐採時期の検討

冬対照区の最初の調査日（7月上旬）は、萌芽開始期（5月中旬）から 8 週間だったため伐採 8 週後の夏対照区と萌芽の再生状況を比較した。夏対照区は、萌芽本数 46,133 本/ha（樹高 1.5m 以上は 133 本/ha）、根元断面積合計 0.95 m^2/ha であった。それに対し冬対照区は、萌芽本数 23,066 本/ha（樹高 1.5m 以上は 4,133 本/ha）、根元断面積合計 0.84 m^2/ha であり、（図－2）夏伐採区の方が 8 週後の萌芽本数では多かったが、2007 年の秋になると、両試験区とも 20,000 本弱に落ち着いた。さらに、2007 年の根元断面積合計の増加量を比べると、夏対照区は 1.58 m^2/ha 、冬対照区は 1.44 m^2/ha であり有意な差は認められなかった（ $p > 0.05$ ）。しかし、萌芽したニセアカシアの樹高 1.5m 以上と樹高 1.5m 未満の本数を比べると、その比率は有意に差があり、（ $p < 0.001$ ）（図－3、図－4）冬伐採の方が、樹高成長が旺盛であった。これは春と秋の光合成量の違いと考えられ、当然の結果と言える。

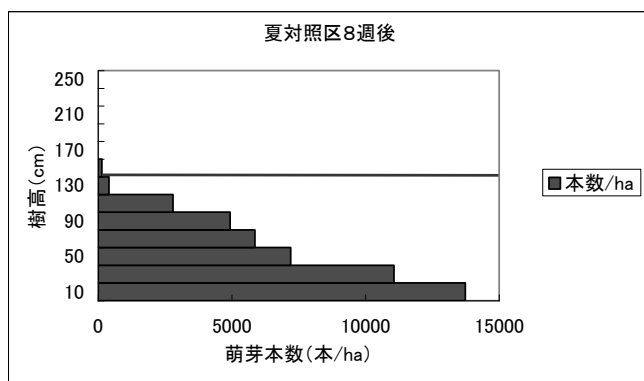
なお、夏対照区においては伐採 8 週後以降は



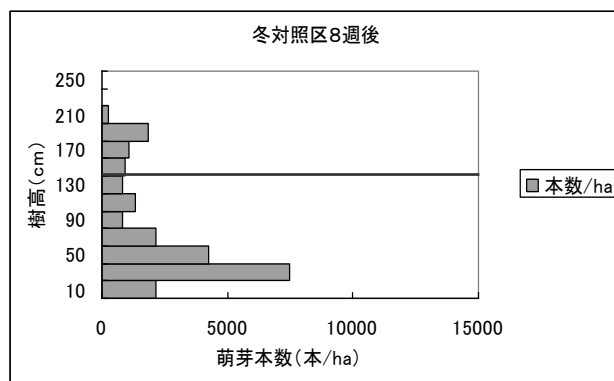
図－1 刈払いと除草剤の効果



図－2 夏対照区と冬対照区の萌芽本数と根元断面積合計



図－3 夏対照区の樹高階級区分



図－4 冬対照区の樹高階級区分

樹高成長（上位 10 本の平均）がほとんどなかったため、7 月下旬から 8 月上旬に伐採すると 10 月上旬頃には最大樹高が 1.5m 弱で成長を停止するものと考えられた（表－2）。

以上から伐採時期の違いが、伐採当年のニセ

表－2 夏対照区の 8 週後と 12 週後の萌芽状況

	8 週後	12 週後
萌芽本数(本/ha)	46,133	43,733
平均樹高(m)	0.51	0.52
根元断面積合計(m ² /ha)	0.95	0.93
最大樹高(m)	1.30	1.30
最大樹高の信頼区間	0.10	0.10

※最大樹高は、上位10本の平均

アカシア根株の萌芽能力に与える直接的な影響は認められなかったが、夏伐採は小さい萌芽を数多く出し、その後自然枯死するものが多いのに対して、冬伐採は萌芽の本数は比較的少ないが、生存率が高く、さらに成長活動期にあたるため、樹高成長が著しくなることが分かった。

3. 除草剤散布時期の検討

除草剤の効果は、夏に伐採した 4 区については 2007 年 6 月、冬に伐採した試験区については 2007 年 9 月の最終調査データを散布後本数として評価した。なお、散布時の最大樹高は、上位 10 本の平均とした。

夏 1 週区は散布時において萌芽しているものがなく、伐根への散布となった。葉面に散布されなかったため、散布後の本数は、24,267 本/ha まで増加した。夏 2 週区は、散布時の萌芽本数が 29,333 本/ha、最大樹高が 0.19m であり、散布後に先端が枯れているものもあったが、21,733 本/ha と除草剤の効果が認められなかった。夏 4 週区は、散布時の萌芽本数が 49,200 本/ha、最大樹高 0.8m であつたが、散布後は、1,600 本/ha まで減少した。夏 8 週区は、散布時の萌芽本数が 43,067 本/ha、最大樹高 1.44m であり、散布後は、1,200 本/ha まで減少した。冬散布区は、散布時の萌芽本数が 29,867 本/ha、最大樹高 1.92m であり、散布後本数は、9,467 本/ha であつた（表－3）。この結果から、夏 1 週区と夏 2 週区は、除草剤の効果がない、夏 4

表－3 除草剤の効果

処理時期		散布時		散布後	備考
伐採	散布	本数/ha	樹高(m)	本数/ha	
8月上旬	1週後	0	0.00	24,267	薬剤の効果なし
	2週後	29,333	0.19	21,733	薬剤の効果なし
	4週後	49,200	0.80	1,600	薬剤の効果が高い
	8週後	43,067	1.44	1,200	薬剤の効果が高い
1月上旬	7月上旬	29,867	1.92	9,467	散布むら多く効果も弱い

※萌芽高は、上位10本の平均

※春の萌芽開始は、5月中～下旬

週区と夏8週区の除草剤の効果が高いことがわかった。これは、有効成分が葉面から吸収され、樹体内に移行していく除草剤であることから、夏1週区と夏2週区ではニセアカシアを枯死させるほどの薬液量が葉に散布されなかったことが原因と考えられる。また、冬散布区が高い除草効果を得られなかった理由として、最大樹高が大きく薬液が十分に届かなかったことと、雑草の繁茂によって散布対象を確認しづらいことから散布むらが生じていた可能性が考えられる。もう一つは散布後の薬剤移行期においても萌芽の旺盛な成長が続くため、散布後に開出した新葉の同化作用によって、萌芽枝が生き残った可能性も考えられた。よって、除草剤の散布は、夏に伐採してから4週以降で樹高1.5mに達する前に行うのが確実であることが示唆された。

IV お わ り に

本研究ではニセアカシアの効果的な駆除方法として、除草剤使用の有効性と伐採及び除草剤の散布適期について明らかにした。今回の結果では、ニセアカシアに対する冬季伐採後の除草剤の駆除効果が低かったが、散布時期を逃さなければ、より高い駆除効果が得られるかもしれない。しかし、調査結果からも、この時期のニセアカシアの樹高成長が早く、適期を逃しやすい、さらに他の植生の繁茂が著しく散布時にニセアカシアを見逃しやすい、庄内ではちょうど梅雨時であり散布のタイミングが難しいなどの問題がある。このことからニセアカシアの駆除を実施する際は、7月下旬から8月上旬に伐採し、最大萌芽高が1.5m程度で止まる9月中旬に除草剤散布を行うのが確実である。しかし、現場作業を考えると真夏の伐採・刈払いは体力的にきつく、また他の雑草かん木の繁茂によって効率が悪い、積雪がない海岸地域では、冬季に刈払を行うことが多い。このため、作業の回数は多くなるが、冬に伐採し、翌9月中の除草剤散布に先立って大きな萌芽だけを刈払う方法が、労力面だけでなく、除草剤の所要量も減らせるという点で有利であるのかも知れない。このような作業の細部については現場条件に合わせて、工夫を重ねる余地がある。

除草剤を使用したとしても、拡大を続けるニセアカシアの駆除は大事業であるため、効率的な作

業体系によって、適正な管理が行われていくことを望む。

V 謝 辞

ニセアカシアの防除方法を検討するに当たり、薬剤の提供、使用方法の助言をいただいた日産化学工業株式会社の藤山正康主席ならびに(財)林業薬剤協会の岡野学専務理事には厚く御礼申し上げる。

VI 引 用 文 献

- (1) 伊藤聡(2006) 山形県の海岸丘陵地帯における広葉樹林復元の目標林型. 山形県森林研究研修センター研究報告第30号: 21-27.
- (2) 前河正昭・中越信和(1997) 海岸砂地においてニセアカシア林の分布拡大がもたらす成帯構造と種多様性の影響. 日本生態学会誌 47: 131-143.
- (3) 真坂一彦・山田健四・小野寺賢介(2006) ニセアカシアとはどんな樹木かー外来種問題の視点からー. 光珠内季報 No. 142: 9-13.
- (4) 宮脇昭(1987): 日本植生誌, 東北. 605pp. 至文堂. 東京.
- (5) 村井宏・石川政幸・遠藤治郎・只木良也(1992): 日本の海岸林ー多面的な環境機能とその活用ー. 513pp. ソフトサイエンス社. 東京.
- (6) 中島勇喜(2006) 海岸マツ林の現状ー役割と問題点ー. グリーンエージ No. 386: 4-7.
- (7) 野堀嘉裕・林田光祐・中島勇喜(2000) 日本海沿岸北部における海岸林の特徴と現況. 東北森林科学会誌 5(2): 69-78.
- (8) 崎尾均(2003) ニセアカシア (*Robinia pseudoacacia* L.) は溪畔域から除去可能か?. 日本林学会誌 85(4): 355-358.
- (9) 志斎和貴・渡部公一・早乙女明(2007) 庄内海岸砂丘林の構造. 海岸林学会誌第6巻第2号: 15-18
- (10) 志斎和貴・渡部公一・早乙女明(2005) 庄内海岸林の実態と更新の可能性. 東北森林科学会第10回大会要旨集: