

ISSN 1343-8999

BULLETIN OF
NIIGATA PREFECTURAL
FOREST RESEARCH INSTITUTE
No.66 2026

新潟県
森林研究所

研究報告

第66号

2026.3



新潟県森林研究所

〒958-0264 新潟県村上市鵜渡路2249-5
Unotoro, Murakami, Niigata 958-0264, Japan

新潟県森林研究所研究報告
第 66 号
目 次

新潟県内のブナ二次林における林分材積表の作成	田中樹己	1
複数の雄性不稔アレルを保有する無花粉スギ F1 個体の検定交配による選抜 (I)	伊藤由紀子・平山聡子・岩井淳治	10
エノキタケ菌床栽培におけるシイタケ廃菌床の利用－炭酸カルシウムの添加効果－	清水達哉	17
ナメコ「新潟森研 Pn1 号」の従属品種「11-1」の特性 －発生処理時の注水および芽出し管理の違いが子実体に与える効果－	清水達哉	22
スギおが粉を培地基材としたエノキタケ菌床有機栽培 －炭酸カルシウム添加および米ぬか混合量の検証－	清水達哉	28
施設空調型ナメコ高速栽培におけるスギおが粉の利用	清水達哉	36
【抄報】		
コナラおが粉を培地基材としたナメコ菌床栽培における コーンコブミール培地のエノキタケ廃菌床による培地基材置換率の検証	清水達哉・島津桃子	50
スギおが粉エノキタケ菌床栽培におけるナメコ廃菌床の利用	清水達哉	51
ナメコ菌床栽培におけるナメコ廃菌床の利用	清水達哉	52
出荷適正サイズ維持のためのブナ苗木の成長抑制	田中樹己・塚原雅美・伊藤幸介	53

新潟県内のブナ二次林における林分材積表の作成

田中樹己¹

要旨：新潟県内のブナ二次林の資源量や成長量を把握するために、新潟県内のブナ二次林における毎木調査データと東北地方ブナ林分密度管理図を用いて、新潟県内のブナ二次林を対象とした林分材積表を作成した。適用範囲は20年生から105年生までであり、推定された樹高は中位（地位級Ⅱ）の40年生で16.3 m、80年生で23.3 mであった。推定されたha当たり材積は中位（地位級Ⅱ）の40年生で255.07 m³、80年生で366.60 m³であり、現行のざつ林分材積表（地位級Ⅱ）の2倍程度、新潟県のスギ地位級Ⅲの半分程度であった。同様の方法で作成された秋田地方のブナを主とする広葉樹林の材積表と比較すると、全体的に材積が大きかった一方で、高齢級側での材積成長量は小さい傾向がみられた。

キーワード：広葉樹、収穫予測、林分密度管理図、地位指数曲線

I. はじめに

ブナ(*Fagus crenata*)は新潟県の主要な広葉樹であり、県内には人為的な攪乱を受けたことがないと考えられる原生林（前田 1991）、薪炭林施業等の人為攪乱後に天然更新した二次林（紙谷 1986；箕口 1991；塚原 1999）、そして人工林（阿部 1964）まで、様々な由来のブナ林が広く分布している。その中でも二次林は古くから人の手により利用され、現在でも一部地域では利用間伐等による積極的な利用がなされている（紙谷 2025）。こうしたブナ二次林において資源を計画的に利用するためには、資源量の把握および収穫予測が重要である。そのため手段のひとつとして、林分材積表（林分収穫表）の利用がある。林分材積表とは、ある樹種に対して、施業上同一の取り扱いを受けた同齢単純林より生産される1 ha当たりの本数、材積、成長量などの諸要素の標準的な値を、一定年齢（本県では5年）ごとに表示した図表である（山田・村松 1963）。

林分材積表は新潟県でも作成され、利用されている（新潟県農林水産部治山課 2010）。しかし、キリ(*Paulownia tomentosa*)を除く広葉樹については対応する表が「ざつ林分材積表」のみであるため、ブナ二次林の材積を推定する場合、精度に課題があると考えられる。

また、2013年より実施されているカーボンクレジット制度「J-クレジット制度」では、省エネ設備の導入や再

生可能エネルギーの利用によるCO₂等の排出量削減量、適切な森林管理によるCO₂の吸収量を「クレジット」として国が認証している（J-クレジット制度事務局 2025）。中でも、森林を対象とした活動は「森林管理プロジェクト」といい（林野庁 2025）、その効果的な活用により、林業経営基盤の強化等が期待されている（林野庁 2023）。また、同様の制度として、クレジットを新潟県が認証する「新潟県版J-クレジット制度」もあり、発行されたクレジットは国の制度と同列に取り扱われる（新潟県環境局環境政策課 2024）。これらの制度には、新潟県内のブナ二次林を対象としたものもすでに登録されているが、その事例はまだ少ないため、さらなる普及により林業経営基盤の強化や森林整備意欲の増進が期待できると考えられる。

これら森林管理プロジェクトにおけるCO₂吸収量の算出には、ha当たりの年間幹材積成長量が必要となるが、林分材積表に記載された材積は、その根拠として活用できる（林野庁 2023）。そのため、新潟県内のブナ二次林におけるJ-クレジット制度の推進にあたっては、より現実に即した吸収量算出のためにも、新潟県内のブナ二次林を対象とした材積表があることが望ましい。

これらの理由から、ブナ二次林に対応した林分材積表の作成により、ブナ二次林の資源量の把握、およびJ-クレジット制度活用時のCO₂吸収量の把握が可能となることが考えられる。そこで本報告では、新潟県内のブナ二

本報告の内容の一部は、第137回日本森林学会大会でポスター発表した。

¹新潟県森林研究所（〒958-0264 新潟県村上市鵜渡路2249-5）

（2025年12月25日受付、2026年2月24日受理）

次林の資源量把握を目的として、ブナ二次林に対応した林分材積表を作成した。

II. 方 法

1. 使用したデータ

使用したデータの概要は表-1のとおりである。調査対象は新潟県内のブナ二次林とし、現地調査および文献調査を実施した。現地調査では25林分、文献調査では51林分、計76林分の毎木調査データを収集した。

現地調査は、各林分内に0.06 ha～1 haのプロットを設置し、生育する樹木の樹高および胸高直径を測定した。現地調査を実施した林分のうち3林分(番号53, 66, 70)では、ブナ3個体以上の地際から円板を採取し、その平均値として林齢を推定した。その他の調査林分における林齢は、新潟県農林水産部治山課作成の森林簿によった。文献調査では、書籍「新潟県内のブナ二次林における施業指針」(新潟県林業改良協会 1991)に記載されたブナ二次林の毎木調査データを用いた。このデータは、調査を担当した箕口秀夫新潟大学名誉教授(当時、新潟県林業試験場に在籍)によると、新潟県の事業として新潟県林業試験場が実施した調査によるものである。書籍には58林分のデータが掲載されていたが、林齢データが欠落していた1林分、ブナの本数率が10%以下の2林分、スギ主体の2林分、その他、データに不自然な点が見受けられた2林分を除く、計51林分のデータを用いた。

使用したデータの範囲は、林齢20～105年生、上層木平均樹高7.4～31.2 m、立木密度120～11,100本/ha、ブナの本数率12.0～100.0%であった。なお、本報告における「ブナ二次林」は、上層木(ha当たり樹高上位250本)にブナを含む広葉樹二次林とし、ブナの本数率が100%でない林分も含めた。よって、比較的若齢の林分を中心に、ブナの本数率が50%以下の林分が含まれる(表-1)。また、現地調査林分には同一林分における反復調査データも含まれる(表-1)が、後述する曲線式の調整にあたっては個別のデータとして扱った。

2. 地位指数曲線の作成

上記のデータにおいて、滝谷(2014)にならい、各林分の立木のうち、ha当たり上位250本の平均樹高として上層木平均樹高を算出した(表-1)。これをもとに、林齢(年)から上層木平均樹高(m)を予測する式を作成した。林齢と上層木平均樹高との関係算出には、山本ら(1982)が示した成長関数のGompertz式(1)、Logistic式(2)、

Mitscherlich式(3)、およびこれらを統合したRichards式(4)を用いた。式(1)から(4)にデータを当てはめ、決定係数 R^2 が最大となった式を、最も当てはまりの良い樹高成長曲線とし、地位指数曲線のガイドカーブとした。

$$H_t = a \times \exp(-b \times \exp(-c \times t)) \quad (1)$$

$$H_t = a / (1 + b \times \exp(-c \times t)) \quad (2)$$

$$H_t = a \times (1 - b \times \exp(-c \times t)) \quad (3)$$

$$H_t = a \times (1 - \exp(-b \times t))^c \quad (4)$$

ここで、 t は林齢、 H_t は林齢 t における上層木平均樹高、 a, b, c は推定するパラメータ、 \exp は指数関数をそれぞれ示す。式(4)のRichards式は、林齢0で原点0を通り、その他の式は限定しない。パラメータの推定には、それぞれの式について残差平方和(RSS)(5)が最小となった場合に収束したとみなすよう繰り返し計算を行った。計算には、統計パッケージR4.5.0(R Core team 2025)の関数optim(アルゴリズム:Nelder-Mead法)を用いた。

$$RSS = \sum_{i=1}^n (h_i - f(t_i))^2 \quad (5)$$

ここで、 h_i は、 i 番目の林分の実測された上層木平均樹高、 $f(t_i)$ は林齢 t により予測された上層木平均樹高、 n はサンプルサイズをそれぞれ示す。

地位指数曲線の作成は、山田・村松(1963)の方法によった。すなわち、ガイドカーブを中心として地位の上界・下界線を平均偏差率(δ')を使った式(6)により求め、その範囲を地位級の数で等分(本報告では地位級の数を3としたため3等分)し、各区分の中心線をそれぞれ地位級ごとの地位指数曲線とした。なお、平均偏差率(δ')は、以下の式(7)により求めた。また、平均偏差率の倍数 m は、上界・下界内にデータの95%程度が入るよう設定した(本報告では2.5とした)。

$$y' = (1 \pm m\delta') \hat{y} \quad (6)$$

$$\delta' = \frac{|z'|}{n} \quad \text{ただし } z' = \frac{y - \hat{y}}{\hat{y}} \quad (7)$$

ここで、 \hat{y} は各データの値、 y はそれに対応するガイドカーブ上の値、 n はサンプルサイズを示す。

3. 本数減少曲線の作成

表-1のデータから、上記で求めた上層樹高と、ha当たり立木本数との関係をべき乗式(8)により求めた。

$$N' = ab^H \quad (8)$$

ここで、 N' はha当たり本数、 H は上層木平均樹高、 a, b は推定するパラメータをそれぞれ示す。

パラメータの推定には、それぞれの式の残差平方和

表-1. 林分材積表の作成に使用したデータの概要

通し番号	上層平均樹高 (m)	林齢 (年)	標高 (m)	面積 (ha)	立木密度 (本/ha)	ブナ立木密度 (本/ha)	ブナ本数率 (%)	地名 ¹⁾²⁾	データの 種類	調査年または 発行年
1	17.4	80	300	0.10	660	460	69.7	朝日村猿田 (現村上市)	文献	1991
2	14.9	63	300	0.10	1700	560	32.9	朝日村猿田 (現村上市)	文献	1991
3	15.0	67	540	0.10	1160	740	63.8	朝日村高根 (現村上市)	文献	1991
4	15.1	50	350	0.10	1280	600	46.9	朝日村高根 (現村上市)	文献	1991
5	22.5	60	100	0.10	1370	1220	89.1	朝日村早稲田 (現村上市)	文献	1991
6	22.5	60	100	0.10	1780	1560	87.6	朝日村早稲田 (現村上市)	文献	1991
7	15.3	50	720	0.10	2300	2220	96.5	入広瀬村 (現魚沼市)	文献	1991
8	17.7	53	720	0.10	3490	2860	81.9	入広瀬村 (現魚沼市)	文献	1991
9	7.4	25	700	0.10	5080	1410	27.8	入広瀬村 (現魚沼市)	文献	1991
10	20.8	50	710	0.10	1290	950	73.6	入広瀬村 (現魚沼市)	文献	1991
11	17.5	60	620	0.10	1430	1190	83.2	入広瀬村 (現魚沼市)	文献	1991
12	11.9	35	790	0.10	4320	1480	34.3	入広瀬村 (現魚沼市)	文献	1991
13	15.0	39	570	0.10	3450	3000	87.0	入広瀬村 (現魚沼市)	文献	1991
14	11.2	39	600	0.10	9260	6670	72.0	入広瀬村 (現魚沼市)	文献	1991
15	10.8	39	600	0.10	2000	1500	75.0	入広瀬村 (現魚沼市)	文献	1991
16	19.7	45	700	0.10	640	450	70.3	入広瀬村 (現魚沼市)	文献	1991
17	16.4	45	720	0.10	560	210	37.5	入広瀬村 (現魚沼市)	文献	1991
18	16.4	40	620	0.10	1010	420	41.6	入広瀬村 (現魚沼市)	文献	1991
19	18.0	40	640	0.10	850	670	78.8	入広瀬村 (現魚沼市)	文献	1991
20	10.0	35	670	0.10	5300	5200	98.1	入広瀬村 (現魚沼市)	文献	1991
21	14.3	28	560	0.10	2080	1910	91.8	入広瀬村 (現魚沼市)	文献	1991
22	11.0	28	540	0.10	10900	2400	22.0	入広瀬村 (現魚沼市)	文献	1991
23	10.0	28	560	0.10	11100	4100	36.9	入広瀬村 (現魚沼市)	文献	1991
24	16.2	33	560	0.10	6280	4390	69.9	入広瀬村 (現魚沼市)	文献	1991
25	13.4	33	580	0.10	4950	1580	31.9	入広瀬村 (現魚沼市)	文献	1991
26	16.0	40	560	0.10	1710	690	40.4	青海町 (現糸魚川市)	文献	1991
27	18.7	70	240	0.10	980	720	73.5	小国町 (現長岡市)	文献	1991
28	22.3	64	400	0.10	930	800	86.0	上川村 (現阿賀町)	文献	1991
29	21.9	35	100	0.10	860	560	65.1	上川村 (現阿賀町)	文献	1991
30	14.4	42	550	0.10	2140	1720	80.4	山北町 (現村上市)	文献	1991
31	16.7	40	620	0.10	840	790	94.0	守門村 (現魚沼市)	文献	1991
32	16.4	40	640	0.10	890	770	86.5	守門村 (現魚沼市)	文献	1991
33	22.1	80	380	0.10	640	630	98.4	高柳町 (現柏崎市)	文献	1991
34	18.8	59	500	0.10	1630	1610	98.8	高柳町 (現柏崎市)	文献	1991
35	15.4	59	500	0.10	1590	1490	93.7	高柳町 (現柏崎市)	文献	1991
36	21.2	50	700	0.10	750	750	100.0	津南町	文献	1991
37	16.3	20	840	0.10	1200	1180	98.3	津南町	文献	1991
38	18.6	35	760	0.10	1270	1150	90.6	津南町	文献	1991
39	22.3	50	530	0.10	1530	1310	85.6	津南町	文献	1991
40	17.5	61	790	0.10	2270	2000	88.1	津南町	文献	1991
41	15.2	35	240	0.10	2410	290	12.0	十日町市	文献	1991
42	11.8	20	450	0.10	6410	3140	49.0	十日町市	文献	1991
43	16.1	34	260	0.10	2350	1960	83.4	能生町 (現糸魚川市)	文献	1991
44	19.1	45	280	0.10	2330	2180	93.6	能生町 (現糸魚川市)	文献	1991
45	17.3	40	270	0.10	2290	1950	85.2	能生町 (現糸魚川市)	文献	1991

46	17.2	40	260	0.10	2730	2590	94.9	能生町 (現糸魚川市)	文献	1991
47	22.5	60	430	0.10	1850	1470	79.5	松之山町 (現十日町市)	文献	1991
48	20.1	60	1500	0.10	1770	1190	67.2	妙高高原町 (現妙高市)	文献	1991
49	20.4	50	550	0.10	360	360	100.0	吉川町 (現上越市)	文献	1991
50	15.8	50	600	0.10	780	700	89.7	吉川町 (現上越市)	文献	1991
51	20.6	46	450	0.08	308	208	67.4	阿賀町七名	現地	2006
52	30.7	60	450	0.06	573	315	55.0	阿賀町七名	現地	2020
53	22.6	73	420	0.07	462	448	97.0	糸魚川市大谷内	現地	2023
54	31.2	104	770	0.09	775	747	96.4	糸魚川市御前山	現地	2020
55	22.1	60	260	0.10	650	590	90.8	糸魚川市横a	現地	2004
56	23.5	60	260	0.10	1030	1030	100.0	糸魚川市横b	現地	2004
57	23.7	63	260	0.10	1560	1230	78.8	糸魚川市横c	現地	2007
58	24.8	72	260	0.10	620	580	93.5	糸魚川市横a	現地	2016
59	25.2	72	260	0.10	960	960	100.0	糸魚川市横b	現地	2016
60	25.2	72	260	0.10	1290	1190	92.2	糸魚川市横c	現地	2016
61	26.1	76	260	0.10	560	520	92.9	糸魚川市横a	現地	2020
62	27.1	76	260	0.10	860	860	100.0	糸魚川市横b	現地	2020
63	27.1	76	260	0.10	1120	1090	97.3	糸魚川市横c	現地	2020
64	23.8	70	680	0.08	425	412	97.0	魚沼市大白川d	現地	2006
65	28.5	84	680	0.08	424	401	94.4	魚沼市大白川d	現地	2020
66	25.9	87	570	0.06	396	396	100.0	魚沼市大白川	現地	2024
67	21.4	97	560	0.92	519	490	94.5	魚沼市大白川	現地	2024
68	21.0	97	530	0.91	757	523	69.1	魚沼市大白川	現地	2024
69	22.5	62	1000	0.08	274	274	100.0	佐渡市金井新保	現地	2006
70	22.2	95	790	0.06	120	120	100.0	上越市名立区東飛山	現地	2024
71	27.4	85	720	0.06	202	202	100.0	津南町上郷上田e	現地	2006
72	29.2	99	720	0.08	291	282	97.1	津南町上郷上田e	現地	2020
73	17.7	105	230	0.10	288	278	96.5	十日町市中屋敷	現地	2006
74	19.4	98	800	0.06	240	228	95.0	十日町市天水島	現地	2024
75	17.7	64	630	0.09	688	680	98.9	長岡市来伝f	現地	2006
76	22.2	78	630	0.08	801	741	92.5	長岡市来伝f	現地	2020

1) 合併等で市町村名が変わった場合は2025年4月現在の市町村名 (新潟県総務部市町村課 2025) を併記した。

2) 地名にアルファベットが付されている地点は、同じ調査地で反復調査を実施したことを示す。

(RSS) (5) が最小となった場合に収束したとみなすよう繰り返し計算を行った。計算には、統計パッケージ R4.5.0 (R Core team 2025) の関数optim (アルゴリズム: Nelder-Mead法) を用いた。

4. 林分材積表の作成

地位指数曲線および本数減少曲線で求めた林齢ごとの上層木平均樹高, および立木本数を東北地方ブナ林分密度管理図 (林業試験場 1985) の等平均樹高曲線式 (9) に代入し, 林齢とha当たり材積の関係を求めた。

$$V = (0.08108071H^{-1.196604} + \frac{15589.6H^{-3.409811}}{N})^{-1} \quad (9)$$

ここで, V はha当たり幹材積 (m^3), N はha当たり立木本数, H は上層平均樹高 (m) をそれぞれ示す。

上記により求めたha当たり材積を5年毎にまとめ, 地位級ごとに林分材積表へ記載した。また, 連年成長量, 平均成長量を山田・村松 (1963) の方法により求め, そ

れぞれの表に記載した。連年成長量は, 後期の幹材積と前期の幹材積との差を期間年数 (5年) で除した値, 平均成長量はその齢階における幹材積を齢階の年数で除した値である。さらに, 成長率をPressler式 (10) により求め, 記載した。

$$Pv = \frac{Va - Va - n}{Va + Va - n} \times \frac{200}{n} \quad (10)$$

ここで, Pv は成長率, Va は現在の幹材積, $Va - n$ は n 年前の幹材積を示す。

Ⅲ. 結果と考察

1. 地位指数曲線の作成

各成長曲線におけるパラメータ推定結果と決定係数は表-2のとおりである。Logistic式で最も決定係数が大きかった ($R^2=0.5337556$) ことから, Logistic式を地位指

表-2. 各成長曲線におけるパラメータ推定結果と決定係数

	推定されたパラメータ			決定係数
	a	b	c	R ²
Gompertz式	26.25926736	1.85084296	0.03416051	0.5302169
Logistic式	25.43142578	3.54769162	0.04603788	0.5337556
Mitscherlich式	27.96665090	0.98753039	0.02195982	0.5250891
Richards式	27.27150060	0.02466569	1.07852427	0.5252272

数曲線のガイドカーブに決定した。

ガイドカーブを用いて、山田・村松 (1963) の方法により作成した地位指数曲線 (図-1) は以下の (11) ~ (13) 式のとおりである。

$$Ht = 31.8829141 / (1 + 3.54769162 \times \exp(-0.04603788 \times t)) \quad (11, \text{地位級 I})$$

$$Ht = 25.43142578 / (1 + 3.54769162 \times \exp(-0.04603788 \times t)) \quad (12, \text{地位級 II})$$

$$Ht = 18.97993746 / (1 + 3.54769162 \times \exp(-0.04603788 \times t)) \quad (13, \text{地位級 III})$$

ここで、 Ht は林齢 t における上層木平均樹高、 t は林齢を示す。

地位級IIの曲線式 (12) で推定された樹高は、40年生で16.3 m、60年生で20.8 m、80年生で23.3 mであった。新潟県内で実施されたブナの樹幹解析の結果では、45年生前後で16.6 ~ 17.7 m (箕口 1991)、63年生前後で19.7 ~ 23.2 m (塚原 1999) であったことが報告されており、推定された樹高はこれらと同程度であると考えられる。

また、秋田地方では、本報告と同様の方法により、ブ

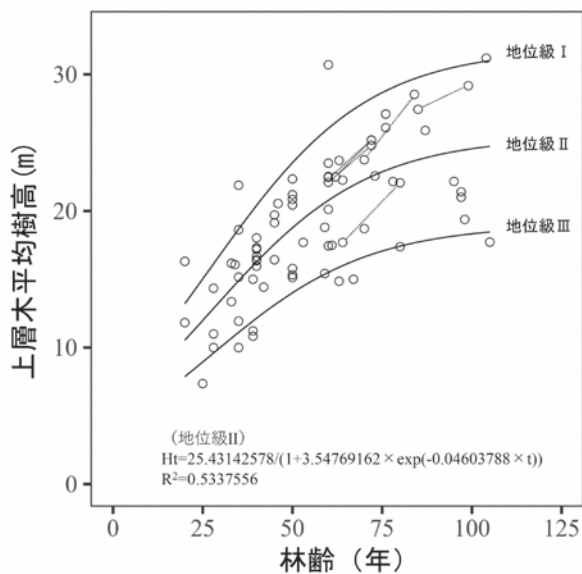


図-1. 作成した地位指数曲線

○は各林分のデータを示す。
点線で結ばれているデータは、反復調査データを示す。
上層木は、各プロットのha当たり樹高上位250本とした。

ナを中心とした広葉樹林を対象に地位指数曲線が作成されている (日本林業技術協会 1990)。その値と比較すると、今回推定された樹高は地位IIで秋田地方の地位Iと同程度であり、全体的に高い傾向がみられた (図-2)。また、高齢級側での樹高成長が緩やかな傾向がみられた (図-2)。

2. 本数減少曲線の作成

作成した本数減少曲線 (図-3) は以下の (14) 式のとおりである。

$$N' = 30264.94 \times 0.8518981^H \quad (R^2=0.5449023) \quad (14)$$

ここで、 N' はha当たり本数、 H は上層木平均樹高を示す。

上記の曲線式では、樹高低位側の立木密度が9,000本/ha程度と、高い値が推定された。ただ、その値も東北地方ブナ林分密度管理図 (林業試験場 1985) 上での収量比数は0.9程度であり、最多密度に達しなかったこと、

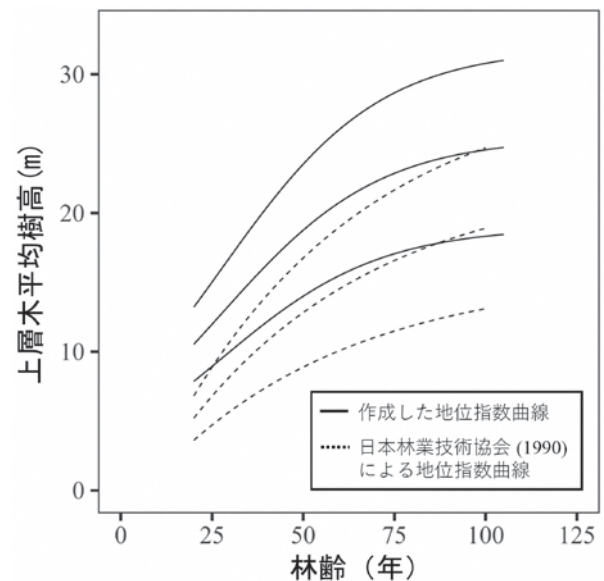


図-2. 作成した地位指数曲線と日本林業技術協会 (1990) による秋田地方のブナを中心とした広葉樹林を対象とした地位指数曲線の比較

それぞれ上から地位級 I, II, IIIを示す。
上層木は、各プロットのha当たり樹高上位250本とした。

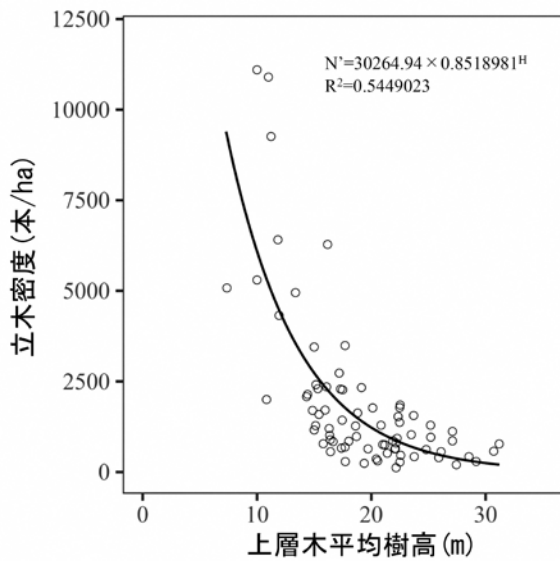


図-3. 作成した本数減少曲線
○は各林分のデータを示す。

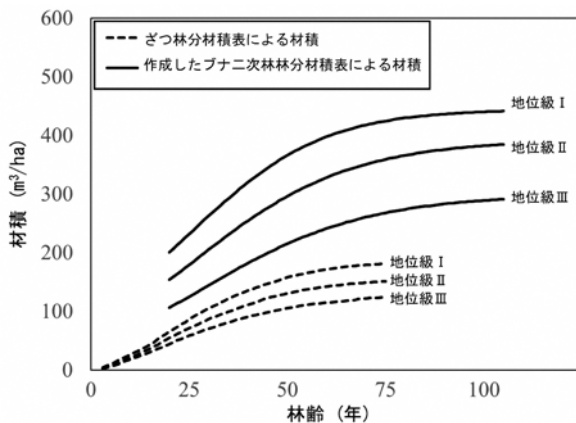


図-4. 作成したブナ二次林林分材積表と既存の材積表(ざつ林分材積表)による材積の比較

新潟県内のブナ二次林において、立木密度が9,282本/ha、ブナの本数率71.4%、平均樹高6.9 mである条件の近い林分の存在が報告されている(箕口・中沢 1987)ことなどから、現実的な範囲であると考えられる。

3. 林分材積表の作成

作成した林分材積表は付表-1～付表-3のとおりである。使用したデータ(表-1)の範囲から、適用範囲は20年生から105年生までとした。また、計算された材積と林齢の関係を図-4に示す。全体として現行のざつ林分材積表(新潟県農林水産部治山課 1990)を大きく上回った。40年生時点で推定された材積は地位級Ⅱで255.07 m³/haと、現行のざつ林分材積表(新潟県農林水産部治山課 1990)の地位Ⅱ(112 m³/ha)より大きかった。地位級Ⅰでは40年生時で323.01 m³/ha、80年生時で433.31 m³/haと、現行の材積表を大きく上回ったが、富山県では

500～700 m³/ha程度の材積が推定される林分が報告されている(石田 2003)ことから、現実的な範囲であると考えられる。

材積の成長量については、富山県のブナ天然林において、期首の林分材積の大小にかかわらず1年間に平均3.3 m³/ha程度の成長がみられたことが報告されている(石田 2003)。本報告の地位級Ⅱにおいて、105年生までの平均成長量は3.67 m³/haであり、同程度であったと考えられる。一方、連年成長量は林齢が上昇するにつれて減少傾向にあり、地位級Ⅱでは80年生時で1.36 m³/ha、90年生時で0.88 m³/haであった。秋田地方を対象とした材積表(日本林業技術協会 1990)では、80年生時で1.93 m³/ha、100年生時で1.59 m³/haであり、本報告の結果はそれを下回った。本報告の結果が秋田地方の材積表(日本林業技術協会 1990)に比べ、樹高成長が高齢級側で小さかったこと(図-2)によるものと考えられる。

IV. おわりに

本報告では、密度管理図を用いて、新潟県内のブナ二次林を対象とした林分材積表を作成した。これにより、これまでの「ざつ林分材積表」を用いるよりも現実に即した資源量の把握が可能になると考えられる。一方で、本報告では、曲線式の調整に用いるデータを新潟県内のブナ二次林における毎木調査データに限ったことから、データ数が76点と少なく、「林分密度管理図による収穫予想表作成の手順書」に記載された基準(年齢あたり10点、林野庁 2024)は満たせなかった。今後は、追加の調査等によりデータを追加して曲線を再調整することで、さらなる精度の向上が可能であると考えられる。

V. 謝 辞

現地調査の実施にあたり、森林所有者の皆様からは調査地の提供を快諾いただいた。また、秋田県林業研究研修センターの丹羽奎太氏、福沢朋子氏には、文献の提供において多大なるご協力をいただいた。新潟大学の箕口秀夫名誉教授には、文献データに関する調査の経緯について、貴重な情報をご提供いただいた。新潟大学農学部の村上拓彦教授には、論文の構成に関して貴重なご助言をいただいた。ここに記して厚く御礼申し上げる。

引用文献

- 阿部正博. 1964. ブナ人工植栽地の成長について. 新潟林試研報. 9: 111-130.
- 石田仁. 2003. 富山県におけるブナ林の分布と動態. 統計数理. 51 (1) : 59-72.
- J-クレジット制度事務局. 2025. J-クレジット制度パンフレット; [2025.12.11参照]. https://japancredit.go.jp/data/pdf/credit_003.pdf.
- 紙谷智彦. 1986. 豪雪地帯におけるブナ二次林の再生過程に関する研究 (Ⅱ) 主要構成樹種の伐り株の樹齢と萌芽能力との関係. 日林誌. 68 (4) : 127-134.
- 紙谷智彦. 2025. かつての薪炭ブナ林を新たな地域資源に スノービーチプロジェクト. 季刊地域. No.60. 東京: 農文協. p. 42-47.
- 前田禎三. 1991. 1-2 日本のブナ. 村井宏, 山谷孝一, 片岡寛純, 由井正敏編, ブナ林の自然環境と保全. 東京: ソフトサイエンス社. p. 12-34.
- 日本森林技術協会. 1990. 秋田地方育成天然林資源予測表作成報告書.
- 新潟県環境局環境政策課. 2024. 新潟県版J-クレジット制度; [2026.2.3参照]. <https://www.pref.niigata.lg.jp/sec/kankyoseisaku/1356777037045.html>.
- 新潟県農林水産部治山課. 2010. 現実林分材積(蓄積)表.
- 新潟県林業改良協会. 1991. 新潟県のブナ二次林における施業指針.
- 新潟県総務部市町村課. 2025. 令和6年度新潟県市町村要覧; [2025.12.2参照]. <https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/attachment/461172.pdf>.
- 箕口秀夫, 中沢迪夫. 1987. 豪雪地帯におけるブナ二次林の改良事例. 新潟林試験報. 29: 77-85.
- 箕口秀夫. 1991. ブナ二次林構成種数種の成長特性. 新潟林試研報. 33: 33-42.
- 滝谷美香. 2014. トドマツ人工林の地位指数曲線の改訂. 北海道林業試験場研究報告. 51: 7-11.
- 塚原雅美. 1999. ブナ二次林の保育と樹幹成長について (Ⅱ). 新潟林試研報. 41: 15-21.
- R Core Team. 2025. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.
- 林業試験場. 1985. ブナ再生林の林分密度管理図.
- 林野庁. 2023. 森林由来J-クレジット創出者向けハンドブック; [2025.12.11参照]. https://www.rinya.maff.go.jp/j/sin_riyou/ondanka/attach/pdf/J-credit-51.pdf.
- 林野庁. 2024. 林分密度管理図による収穫予想表作成の手順書; [2026.2.3参照]. https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/sinrin_keikaku/attach/pdf/con_3-60.pdf.
- 林野庁. 2025. J-クレジット制度; [2025.12.11参照]. https://www.rinya.maff.go.jp/j/sin_riyou/ondanka/J-credit.html.
- 山田茂夫, 村松保男. 1963. 例解測樹の実務. 東京: 地球出版株式会社.
- 山本充男, 安井鈞, 秋山郁男. 1982. 生長曲線の検討 第1報 生長因子と曲線式との関係. 島根大農研報. 16: 48-52.

付表-1. ブナ二次林林分材積表 (地位級 I)

林齢 (年)	樹高 (m)	本数 (本/ha)	幹材積 (m ³ /ha)	連年成長量 (m ³ /ha)	平均成長量 (m ³ /ha)	成長率 (%)
20	13.2	3640	201.73		10.09	
25	15.0	2724	233.45	6.34	9.34	2.92
30	16.9	2030	264.96	6.30	8.83	2.53
35	18.7	1519	295.15	6.04	8.43	2.16
40	20.4	1150	323.01	5.57	8.08	1.80
45	22.0	885	347.80	4.96	7.73	1.48
50	23.5	697	369.10	4.26	7.38	1.19
55	24.9	562	386.84	3.55	7.03	0.94
60	26.0	465	401.19	2.87	6.69	0.73
65	27.1	395	412.55	2.27	6.35	0.56
70	27.9	344	421.38	1.77	6.02	0.42
75	28.7	306	428.15	1.36	5.71	0.32
80	29.3	278	433.31	1.03	5.42	0.24
85	29.8	256	437.22	0.78	5.14	0.18
90	30.2	240	440.19	0.59	4.89	0.14
95	30.5	227	442.43	0.45	4.66	0.10
100	30.8	218	444.14	0.34	4.44	0.08
105	31.0	210	445.45	0.26	4.24	0.06

付表-2. ブナ二次林林分材積表 (地位級 II)

林齢 (年)	樹高 (m)	本数 (本/ha)	幹材積 (m ³ /ha)	連年成長量 (m ³ /ha)	平均成長量 (m ³ /ha)	成長率 (%)
20	10.5	5587	154.23		7.71	
25	12.0	4434	179.92	5.14	7.20	3.07
30	13.4	3508	205.80	5.18	6.86	2.68
35	14.9	2783	231.10	5.06	6.60	2.32
40	16.3	2228	255.07	4.79	6.38	1.97
45	17.6	1809	277.11	4.41	6.16	1.66
50	18.8	1494	296.84	3.95	5.94	1.38
55	19.8	1259	314.07	3.45	5.71	1.13
60	20.8	1083	328.80	2.95	5.48	0.92
65	21.6	951	341.17	2.47	5.25	0.74
70	22.3	851	351.41	2.05	5.02	0.59
75	22.9	775	359.80	1.68	4.80	0.47
80	23.3	717	366.60	1.36	4.58	0.37
85	23.7	673	372.10	1.10	4.38	0.30
90	24.1	638	376.51	0.88	4.18	0.24
95	24.3	611	380.04	0.71	4.00	0.19
100	24.6	591	382.85	0.56	3.83	0.15
105	24.7	574	385.10	0.45	3.67	0.12

付表-3. ブナ二次林林分材積表 (地位級Ⅲ)

林齢 (年)	樹高 (m)	本数 (本/ha)	幹材積 (m ³ /ha)	連年成長量 (m ³ /ha)	平均成長量 (m ³ /ha)	成長率 (%)
20	7.8	8483	105.09		5.25	
25	8.9	7160	123.78	3.74	4.95	3.27
30	9.9	6029	142.79	3.80	4.76	2.85
35	11.0	5085	161.61	3.76	4.62	2.47
40	12.0	4314	179.73	3.62	4.49	2.12
45	13.0	3695	196.74	3.40	4.37	1.81
50	13.9	3204	212.31	3.11	4.25	1.52
55	14.7	2817	226.25	2.79	4.11	1.27
60	15.4	2514	238.50	2.45	3.97	1.05
65	16.0	2277	249.06	2.11	3.83	0.87
70	16.5	2092	258.04	1.80	3.69	0.71
75	17.0	1947	265.59	1.51	3.54	0.58
80	17.3	1833	271.87	1.26	3.40	0.47
85	17.6	1744	277.05	1.04	3.26	0.38
90	17.9	1673	281.29	0.85	3.13	0.30
95	18.1	1618	284.75	0.69	3.00	0.24
100	18.3	1574	287.56	0.56	2.88	0.20
105	18.4	1539	289.83	0.45	2.76	0.16

複数の雄性不稔アレルを保有する無花粉スギF₁個体の検定交配による選抜 (I)

伊藤由紀子¹・平山聡子²・岩井淳治³

要旨: 当所で保有している、無花粉スギと新潟県育種素材を交配して作出したF₁個体から、2つの遺伝子座において雄性不稔アレルをヘテロ接合体として保有する個体 (ダブルヘテロ個体) を選抜することを目的に、検定交配および不可稔判定調査を行った。調査の結果、S3-88 (2), S3-49 (3), S1-29 (1), T-49 (1), T-49 (2) の5個体がダブルヘテロ個体と判定された。また、S5-82 (1), S3-114 (2), S3-88 (1), T-117 (2), T-88 (1) の5個体は調査を行った実生苗が少数であったため、継続調査が必要と判断された。MS2遺伝子座を調査対象としたT-126 (1) とT-126 (2) の後代では、判定不明個体の割合が高く、本遺伝子座における雄性不稔個体の判別の難しさが再確認された。

キーワード: スギ, 雄性不稔アレル, ダブルヘテロ, 検定交配, 不可稔判定

I. はじめに

スギ花粉症は長年にわたり国民的な社会問題となっている。政府は、スギ花粉症の林業面からの対策として、令和5年10月に花粉症対策初期集中対応パッケージを取りまとめた (林野庁2025)。パッケージに挙げられている対策として、スギ人工林の伐採・植替え等を加速化し、無花粉品種などの花粉の少ない苗木の生産拡大が求められている。

無花粉スギの雄性不稔形質は、単一の遺伝子 (雄性不稔遺伝子) によって支配され、変異型対立遺伝子 (雄性不稔アレル) がホモ接合となった場合に発現する潜性形質であることが明らかになっている (Taira et al. 1999)。現在までに5種類の雄性不稔遺伝子が発見されており (Taira et al. 1999; 吉井・平 2007; 宮嶋ら 2010; 斎藤 2010; 平山ら 2021; Tsurisaki et al. 2023)、発見された順にMS1からMS5と命名されている。各遺伝子座における雄性不稔アレルはそれぞれms1からms5と表記される。なお、従来の表記では、これらの遺伝子座を発見順にAからEのアルファベットで表し、各遺伝子型を対応する大文字 (顕性アレル) および小文字 (潜性アレル) の組合せ (例: AA・Aa・aa) で表記してきた。したがって、MS1遺伝子座に起因する無花粉スギの遺伝子型はms1/ms1 (aa)、MS2遺伝子座に起因する無花粉スギの遺伝子型はms2/ms2 (bb) と表記する (林木遺

伝子標記委員会 2016)。本報告では以後、個体名に付すアルファベット表記は、雄性不稔遺伝子の遺伝子記号に基づく遺伝子型を示すものとする。

無花粉スギ品種の開発では、人工林や精英樹等の育種素材から選抜された無花粉スギや雄性不稔アレルをヘテロ接合体で保有する個体などを第一世代にして品種改良が行われる。

新潟県では、従来から無花粉スギの品種開発を進めており、富山不稔1号 (aa) や新大不稔1号 (bb) を母樹として作出したさし木100クローン品種 (樋口ら 2009) や、富山不稔1号 (aa) と新大不稔3号 (aa) を母樹として作出したさし木40クローン品種 (岩井 2024) などの開発を行ってきた。さらに、無花粉スギの品種開発だけではなく、新潟県が保有する育種素材の中から雄性不稔アレルを持つ個体の選抜にも取り組んでいる。平山ら (2021) はMS2～MS4座において雄性不稔アレルをヘテロ接合体で保有する個体 (以下、ヘテロ個体) を検定交配により選抜し、Moriguchi et al. (2020) はMS1座におけるヘテロ個体のDNAマーカー選抜を行った。

平山ら (2021) は、これらヘテロ個体を利用した無花粉スギの種子生産などを提案している。無花粉スギの種子を生産するには、雄性不稔アレルをホモ接合体で保有する個体 (以下、ホモ個体) の無花粉スギを母樹に、母樹と同じ雄性不稔遺伝子座のヘテロ個体を花粉親にして人工交配を行う必要があり、理論上は無花粉スギ出現

¹新潟県森林研究所 〒958-0264 新潟県村上市鶺渡路2249-5

²新潟県農林水産部林政課 〒950-8570 新潟市中央区新光町4-1

³新潟県農林水産部治山課 〒950-8570 新潟市中央区新光町4-1
(2026年2月16日受付, 2026年3月2日受理)

確率が50%になる (Taira et al. 1999)。さらに, Moriguchi et al. (2017) が提案しているように, 異なる2種類の雄性不稔遺伝子座において, それぞれ雄性不稔アレルをホモ接合体で保有する個体 (以下, ダブルホモ個体) を母樹に, 母樹と同じ2つの雄性不稔遺伝子座においてヘテロ接合体となる個体 (以下, ダブルヘテロ個体) を花粉親にして人工交配を行うと理論上, 無花粉スギ出現確率を75%まで増やすことができるため, より効率的な無花粉スギの種子生産および実生苗の普及が可能となる。

当所では, 無花粉スギ原種 (新大不稔系, 富山不稔系, 福島不稔系) や新潟県の育種素材である精英樹, スギカミキリ抵抗性品種, 雪害抵抗性品種, 佐渡天然品種を保有している。さらに無花粉スギ原種を母樹に, 新潟県の育種素材を花粉親にして人工交配を行い作出した複数の次世代個体を所内の苗畑に定植し, 無花粉スギF₁個体として管理している。本研究では, 当所で保有する無花粉スギF₁個体の検定交配および不可稔判定調査を行い, ダブルヘテロ個体を選抜した結果を報告する。

II. 材料と方法

1. ダブルヘテロ候補個体と研究対象遺伝子座

当所が保有する育種素材の中で五泉市1号 (Bb), 東蒲原7号 (Ee), カミキリ15号 (Cc), カミキリ58号 (Dd), 佐渡天然102号 (Cc), 佐渡天然119号 (Cc) の6個体がヘテロ個体であると判明したため (平山ら 2021), これらを花粉親にして作出した無花粉スギF₁個体がダブルヘテロ個体の可能性がある。本研究の調査対象 (ダブルヘテロ候補個体) となるのは表-1に示した34個体 (新大不稔1号F₁から5個体, 新大不稔3号F₁から11個体, 新大不稔5号F₁から3個体, 富山不稔1号F₁から12個体, 福島不稔3号F₁から3個体) である。無花粉スギF₁個体の中には, 同じ両親から作出されたきょうだい個体が存在するため, これらを区別するために個体名の末尾に (1), (2), (3) などを付して区別をした。

34個体のダブルヘテロ候補個体 (無花粉スギF₁個体) の母樹のうち, 新大不稔3号 (aaEe) はMS₁遺伝子座に起因する無花粉スギであるが (斎藤 2010), MS₅遺伝子座において雄性不稔アレルをヘテロ接合体で保有する (平山ら 2021; Tsurisaki et al. 2023)。さらに, 福島不稔3号 (Aabb) は, MS₂遺伝子座に起因する無花粉スギであるが, MS₁遺伝子座において雄性不稔アレルをヘ

テロ接合体で保有する (Kobayashi et al. 2026)。このように, 2つの遺伝子座において雄性不稔アレルをそれぞれホモ接合とヘテロ接合体で保有する原種個体を, 本稿では「原種ホモヘテロ個体」と称する。このような原種ホモヘテロ個体のF₁では, ホモ接合体の遺伝子座の雄性不稔アレルは必ず後代に受け継がれるが, ヘテロ接合体の遺伝子座の雄性不稔アレルが後代に受け継がれる確率は50%である。原種ホモヘテロ個体のヘテロ接合体 (新大不稔3号ではMS₅座, 福島不稔3号ではMS₁座) における分離に関しても, 本来は検定交配による調査が必要であるが, 本研究では実施しなかった。

また, 新大不稔3号 (aaEe) と東蒲原7号 (Ee) は, どちらもMS₅遺伝子座において雄性不稔アレルをヘテロ接合体で保有している。そのため, これらを両親とするS3-114 (1) とS3-114 (2) については, MS₅遺伝子座がホモ個体 (Aaee) となる可能性もあったが, 事前に花粉飛散を確認していることから, その可能性は除外した (表-1: No.30,31)。

表-1. 調査対象の無花粉スギF₁個体

No.	個体名	調査対象の無花粉スギF ₁ 個体 注1		調査する遺伝子型 注2
		母樹	× 花粉親	
1	S5-82 (1)	新大不稔5号 (cc)	× 東蒲原7号 (Ee)	<u>CcEE</u> / <u>CcEe</u>
2	S5-82 (2)			
3	S5-82 (3)			
4	S3-19 (1)	新大不稔3号 (aaEe)	× 佐渡天然119号 (Cc)	<u>AaCC</u> / <u>AaCc</u>
5	S3-19 (2)			
6	S3-19 (3)			
7	S3-88 (1)	新大不稔3号 (aaEe)	× カミキリ58号 (Dd)	<u>AaDD</u> / <u>AaDd</u>
8	S3-88 (2)			
9	S3-88 (3)			
10	S3-49 (1)	新大不稔3号 (aaEe)	× カミキリ15号 (Cc)	<u>AaCC</u> / <u>AaCc</u>
11	S3-49 (2)			
12	S3-49 (3)			
13	S1-16 (1)	新大不稔1号 (bb)	× カミキリ58号 (Dd)	<u>BbDD</u> / <u>BbDd</u>
14	S1-16 (2)			
15	S1-16 (3)			
16	S1-29 (1)	新大不稔1号 (bb)	× 東蒲原7号 (Ee)	<u>BbEE</u> / <u>BbEe</u>
17	S1-29 (2)			
18	T-126 (1)	富山不稔1号 (aa)	× 五泉市1号 (Bb)	<u>AaBB</u> / <u>AaBb</u>
19	T-126 (2)			
20	T-19 (1)	富山不稔1号 (aa)	× 佐渡天然119号 (Cc)	<u>AaCC</u> / <u>AaCc</u>
21	T-19 (2)			
22	T-19 (3)			
23	T-49 (1)	富山不稔1号 (aa)	× カミキリ15号 (Cc)	<u>AaCC</u> / <u>AaCc</u>
24	T-49 (2)			
25	T-49 (3)			
26	T-117 (1)	富山不稔1号 (aa)	× 東蒲原7号 (Ee)	<u>AaEE</u> / <u>AaEe</u>
27	T-117 (2)			
28	T-117 (3)			
29	T-88 (1)	富山不稔1号 (aa)	× カミキリ58号 (Dd)	<u>AaDD</u> / <u>AaDd</u>
30	S3-114 (1)	新大不稔3号 (aaEe)	× 東蒲原7号 (Ee)	<u>AaEE</u> / <u>AaEe</u>
31	S3-114 (2)			
32	F3-46 (1)	福島不稔3号 (Aabb)	× 東蒲原7号 (Ee)	<u>BbEE</u> / <u>BbEe</u>
33	F3-46 (2)			
34	F3-46 (3)			

注1: 新潟県では, 長らくカミキリ抵抗性個体を「候補カミキリ新潟X号 (候カ新潟X号)」と表記していたが, 近年は「カミキリX号」に統一された。

注2: 本研究で対象とした遺伝子座について, 検定交配により分離が想定されるF₁個体の遺伝子型パターンをラッシュで区切って示した。下線部はダブルヘテロ個体であった場合に想定される遺伝子型である。

表-2. 検定交配の組合せおよび実施年月、播種年月ならびに不可稔判定年次

No.	検定交配組合せ 注1		検定交配 年 月	播種 注2 年 月	不可稔判定 注3							
	母樹	× 花粉親			2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
1	S5-82(1)	× 東蒲原7号(Ee)	2018 3~4	2018 12		○	○	○				
2	S5-82(2)	× 東蒲原7号(Ee)	2018 "	2018 12		○	○	○	○			
3	S5-82(3)	× 東蒲原7号(Ee)	2018 "	2018 12		○	○	○	○			
4	新大不稔5号(cc)	× S3-19(1)	2018 "	2018 12		○	○	○	○			
5	新大不稔5号(cc)	× S3-19(2)	2018 "	2018 12		○	○	○	○			
6	新大不稔5号(cc)	× S3-19(3)	2018 "	2018 12		○	○	○	○			
7	新大不稔8号(dd)	× S3-88(1)	2017 "	2018 5		○	○	○				
8	新大不稔8号(dd)	× S3-88(2)	2023 "	2024 5								○
9	新大不稔8号(dd)	× S3-88(3)	2017 "	2018 5		○	○	○	○			
10	S3-49(1)	× カミキリ15(Cc)	2016 "	2017 4	○		○	○	○			
11	S3-49(2)	× カミキリ15(Cc)	2016 "	2017 4	○		○	○	○			
12	S3-49(3)	× カミキリ15(Cc)	2016 "	2017 4	○		○	○	○			
13	新大不稔8号(dd)	× S1-16(1)	2023 "	2024 1、5							○	○
14	新大不稔8号(dd)	× S1-16(2)	2016 "	2016 11	○		○	○	○			
15	新大不稔8号(dd)	× S1-16(3)	2016 "	2016 11	○		○	○	○	○		
16	新大不稔3号(Ee)	× S1-29(1)	2018 "	2020 2			○	○				
17	新大不稔3号(Ee)	× S1-29(2)	2018 "	2020 2			○	○	○			
18	新大不稔1号(bb)	× T-126(1)	2019 "	2021 2					○	○	○	○
19	新大不稔1号(bb)	× T-126(2)	2019 "	2021 2					○	○	○	○
20	新大不稔5号(cc)	× T-19(1)	2022 "	2023 5							○	○
21	新大不稔5号(cc)	× T-19(2)	2022 "	2023 1、5							○	○
22	新大不稔5号(cc)	× T-19(3)	2022 "	2023 1、5							○	○
23	新大不稔5号(cc)	× T-49(1)	2022 "	2023 1、5							○	○
24	新大不稔5号(cc)	× T-49(2)	2022 "	2023 1、5							○	○
25	新大不稔5号(cc)	× T-49(3)	2022 "	2023 1、5							○	○
26	T-117(1)	× 東蒲原7号(Ee)	2022 "	2023 1							○	○
27	T-117(2)	× 東蒲原7号(Ee)	2022 "	2023 1							○	○
28	T-117(3)	× 東蒲原7号(Ee)	2022 "	2023 1							○	○
29	新大不稔8号(dd)	× T-88(1)	2022 "	2023 5							○	○
30	S3-114(1)	× 東蒲原7号(Ee)	2022 "	2023 1							○	○
31	S3-114(2)	× 東蒲原7号(Ee)	2022 "	2023 1							○	○
32	F3-46(1)	× 東蒲原7号(Ee)	2023 "	2024 5								○
33	F3-46(2)	× 東蒲原7号(Ee)	2023 "	2024 5								○
34	F3-46(3)	× 東蒲原7号(Ee)	2023 "	2024 5								○

注1：下線部は調査対象とした無花粉スギF₁個体を示す。なお、交配相手となる個体の遺伝子型は括弧内に示した。

注2：発芽率が低い等の理由から、複数回の播種を行った組み合わせが存在する。

注3：丸印の年に不可稔判定を実施した。

2. 検定交配の組み合わせ

ダブルヘテロ候補個体を対象とした検定交配組み合わせを表-2にまとめた。検定交配で作出した後代実生苗の雄花が有花粉(可稔)か無花粉(不稔)かを判定する調査(以下、不可稔判定調査)により不可稔の判別ができた実生苗は合計1,596本であった。使用する母樹と花粉親の組み合わせにより、期待される不稔個体の出現確率は50%あるいは25%となっている。検定交配の模式図を図-1に示した。この図は、S1-16(1)(表-2:No.13)の雄性不稔遺伝子座における遺伝子型の判定方法を示したものである。S1-16(1)は遺伝子型がBbDDまたはBbDdであるため、MS4遺伝子座がホモ接合体である新大不稔8号(dd)との人工交配で得られた実生苗の不可稔判定を行い、不稔個体と可稔個体の分離比に基づいてS1-16(1)がダブルヘテロ個体であるか否かを判定した。

また、各組み合わせの検定交配、作出した種子の播種、不可稔判定調査の時期を表-2に示した。検定交配実施の

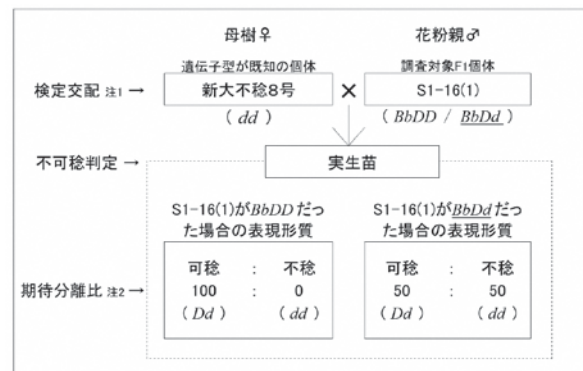


図-1. 検定交配の模式図

(例：S1-16(1)が調査対象個体、MS4座が調査対象遺伝子座の場合)

注1: 調査対象のF₁個体が母樹になる交配組み合わせも存在する。

注2: 調査対象の遺伝子座におけるヘテロ接合体同士の交配では、可稔：不稔の期待分離比は75:25となる。

前年6～8月に、濃度100 ppmのジベレリン (GA_3) 水溶液を葉面散布し (以下、ジベレリン処理とする) 花芽形成を誘導して交配を行った。交配により作出した種子は播種してから2～3年育苗を行い、不可稔判定調査の前年7月にジベレリン処理を実施した。なお、新大不稔8号とS3-88 (1) の検定交配は2017年に実施したが (表-2: No.7), 検定に供試できる実生苗が少なかったため、2023年に改めて検定交配を行った。

3. 不可稔判定調査

不可稔判定調査は、平山ら (2021) に準じて半割した雄花を実体顕微鏡で観察する方法で行ったが、本研究では光学顕微鏡観察までは実施しなかった。調査年は表-2のとおりである。

花粉嚢内が花粉粒で満たされており、半割した雄花をピンセットで挟んで軽く圧力を加えると花粉粒がこぼれ出るものを「可稔」と区分した。花粉嚢に明らかな隙間があり、半割した雄花をピンセットで挟んで軽く圧力を加えても花粉粒がこぼれ出ないもの、花粉粒同士が癒着して圧迫によって花粉嚢ごと出てきてしまうものを「不稔」と区分した。着花せず観察ができなかったものは「雄花なし」とした。可稔と不稔の判断が明確にできなかったものは「不明」とした。ただし、顕微鏡観察において「不明」と判断された個体でも、春先に当該個体の雄花を軽く叩き、花粉の飛散を目視できたものについては「可稔」と区分した。観察した雄花数は1～5個程度 (着花状況などにより観察数は異なる) とした。

4. 解析方法

検定交配を行った実生苗のうち、「雄花なし」個体と「不明」個体を除き、「可稔」と「不稔」と判定された個体数を総数とした。それぞれの個体数 (観察値) と期待される分離比 (期待値) との間に有意差がないかを、ブラウザ上で作動するjs-STAR XR+ release 2.5.0jを用いてカイ二乗適合度検定により評価した (有意水準 $p>0.05$)。

Ⅲ. 結果と考察

1. 選抜されたダブルヘテロ個体

不可稔判定調査の結果は表-3のとおりである。本研究結果から選抜できたダブルヘテロ個体は、遺伝子型: $AaDd$ がS3-88 (2) の1個体、遺伝子型: $AaCc$ が3-49 (3), T-49 (1), T-49 (2) の3個体、遺伝子型: $BbEe$ がS1-29 (1)

の1個体の計5個体である (表-3: No.8,12,16,23,24)。その他にも、期待分離比から有意な隔たりがなかった個体や不稔が検出された個体はあったが、調査苗数が少ない、不明率が高いなどの理由からこれらをダブルヘテロ個体と確定するには至らなかった。

2. 継続調査が必要な個体

(1) ダブルヘテロである可能性を排除できない個体

T-117 (2) とT-88 (1) は、期待分離比にそれぞれ適合したが、判定できた実生苗 (表-3の判定数) が10個体以下と少なかった。不稔個体を検出できたがそれぞれ1個体と2個体のみであったため、調査苗数を増やすか、今回不稔と判定された個体を定植して観察を継続する必要がある (表-3: No.27,29)。

S3-88 (1) は、2017年の交配で作出した実生苗の判定結果 (可稔: 不稔=4:4) と2023年の交配で作出した実生苗の判定結果 (可稔: 不稔=23:3) が異なった (表-3: No.7)。しかしながら、後者は不可稔判定が1回しかできていないことから不明率が19%と高い。仮に不明個体と雄花なし個体がすべて不稔であれば、可稔: 不稔=23:14 ($p=0.09$) となり、期待分離比からの有意な隔たりはないと判断される。3個体ではあるが不稔個体が検出されていることも踏まえると、この個体もダブルヘテロ個体である可能性を排除できないと考えられる。

S5-82 (1) とS3-114 (2) は、不稔が1個体も検出されなかったが、可稔: 不稔の期待分離比=75: 25と不稔の発現割合が少なく、判定できた実生苗がそれぞれ9個体、12個体と少数であったため、本調査結果だけでは、ダブルヘテロ個体ではないと断定できないと考えられる (表-3: No.1,31)。

(2) 検定回数が少ない個体

F3-46 (1), F3-46 (3) の2個体は、S3-88 (1) と同様に、1回しか不可稔判定ができていないため、不明率が高い値となった (表-3: No.32,34)。不明に分類した個体は、本研究の観察では可稔に近い個体であったことから、ダブルヘテロ個体の可能性は低いと考えている。これらは追加調査により確定できると思われる。

(3) 表現形質が不明なMS2候補個体

Tsurisaki et al. (2023) は、MS2に起因する無花粉スギの花粉飛散期の雄花について、花粉嚢ごとに内部の花粉粒の癒着程度が異なり、癒着程度が著しい花粉嚢は収縮する一方で、癒着程度が低く花粉粒が残存する花粉嚢は収縮しないことを報告した。本研究においても、

表-3. 検定交配の分離比および不可稔判定結果の概要

No.	検定交配組合せ		期待分離比	実生苗		顕微鏡観察結果					適合度検定 p 値	
	母樹	× 花粉親		可稔	不稔	可稔	不稔	雄花 なし	不明	不明 率		
1	S5-82(1)	× 東蒲原7号	75 : 25	9	9	9	0	0	0	0%	0.075	
2	S5-82(2)	× 東蒲原7号	75 : 25	125	114	114	0	7	4	4%	0.000	
3	S5-82(3)	× 東蒲原7号	75 : 25	64	60	60	0	0	4	7%	0.000	
4	新大不稔5号	× S3-19(1)	50 : 50	63	62	62	0	1	0	0%	0.000	
5	新大不稔5号	× S3-19(2)	50 : 50	63	55	55	0	5	3	5%	0.000	
6	新大不稔5号	× S3-19(3)	50 : 50	32	30	30	0	1	1	3%	0.000	
7	新大不稔8号	× S3-88(1)	50 : 50	8	8	4	4	0	0	0%	0.637	
	新大不稔8号	× S3-88(1)	50 : 50	37	26	23	3	6	5	19%	0.000	
8	新大不稔8号	× <u>S3-88(2)</u>	50 : 50	43	40	20	20	0	3	8%	0.563 ※	
9	新大不稔8号	× S3-88(3)	50 : 50	56	55	55	0	0	1	2%	0.000	
10	S3-49(1)	× カミキリ15	75 : 25	89	88	88	0	1	0	0%	0.000	
11	S3-49(2)	× カミキリ15	75 : 25	91	90	90	0	1	0	0%	0.000	
12	<u>S3-49(3)</u>	× カミキリ15	75 : 25	105	104	75	29	1	0	0%	0.281 ※	
13	新大不稔8号	× S1-16(1)	50 : 50	48	44	44	0	0	4	9%	0.000	
14	新大不稔8号	× S1-16(2)	50 : 50	64	63	63	0	0	1	2%	0.000	
15	新大不稔8号	× S1-16(3)	50 : 50	64	58	58	0	5	1	2%	0.000	
16	新大不稔3号	× <u>S1-29(1)</u>	75 : 25	60	60	47	13	0	0	0%	0.335 ※	
17	新大不稔3号	× S1-29(2)	75 : 25	54	49	49	0	1	4	8%	0.000	
18	新大不稔1号	× T-126(1)	50 : 50	54	36	36	0	0	18	50%	0.000	
19	新大不稔1号	× T-126(2)	50 : 50	72	38	37	1	0	34	89%	0.000	
20	新大不稔5号	× T-19(1)	50 : 50	43	39	39	0	1	3	8%	0.000	
21	新大不稔5号	× T-19(2)	50 : 50	34	34	34	0	0	0	0%	0.000	
22	新大不稔5号	× T-19(3)	50 : 50	36	35	35	0	0	1	3%	0.000	
23	新大不稔5号	× <u>T-49(1)</u>	50 : 50	42	42	22	20	0	0	0%	0.439 ※	
24	新大不稔5号	× <u>T-49(2)</u>	50 : 50	31	31	14	17	0	0	0%	0.360 ※	
25	新大不稔5号	× T-49(3)	50 : 50	46	46	46	0	0	0	0%	0.000	
26	T-117(1)	× 東蒲原7号	75 : 25	48	46	46	0	0	2	4%	0.000	
27	T-117(2)	× 東蒲原7号	75 : 25	11	10	9	1	0	1	10%	0.244	
28	T-117(3)	× 東蒲原7号	75 : 25	48	42	42	0	0	6	14%	0.000	
29	新大不稔8号	× T-88(1)	50 : 50	11	8	6	2	0	3	38%	0.145	
30	S3-114(1)	× 東蒲原7号	75 : 25	21	19	19	0	0	2	11%	0.004	
31	S3-114(2)	× 東蒲原7号	75 : 25	13	12	12	0	0	1	8%	0.032	
32	F3-46(1)	× 東蒲原7号	75 : 25	79	61	61	0	6	12	20%	0.000	
33	F3-46(2)	× 東蒲原7号	75 : 25	50	38	38	0	8	4	11%	0.000	
34	F3-46(3)	× 東蒲原7号	75 : 25	64	44	44	0	10	10	23%	0.000	
				合計	1778	1596	1486	110	54	128	8%	

※および下線部は、調査対象個体がダブルヘテロ個体と判断されたものを示す。

MS2に起因するダブルヘテロ候補個体であるT-126 (1) とT-126 (2) は、可稔と不稔の判定が困難な個体が多く、顕著に不明率が高かった (表-3: No18,19)。具体的には、一粒の雄花の中で花粉が詰まっている花粉囊もある一方で粘性のある液体が詰まっている花粉囊もある個体 (写真-1)、雄花ごとに判定結果が変わる個体 (可稔判定の雄花と不稔判定の雄花が混在)、一見花粉粒が詰まっているもののピンセットで挟んで軽く圧力を加えても花粉粒がこぼれ出ないか粘性のある液体が出てくる個体などがあり、実体顕微鏡観察では不可稔判定が極めて難しかった。このことは、Tsurisaki et al. (2023) の報告と合致しており、本研究でもMS2の判別の難しさが再確認された。

3. 今後の展望

(1) ホモヘテロ個体の後代の継続調査

先述のとおり、原種ホモヘテロ個体 (新大不稔3号、福島不稔3号) のヘテロ接合座について今回は調査を行わなかった。これらのF1家系についてはダブルヘテロ個

体が存在する可能性が残っており、調査を継続したい。加えて、本研究でダブルヘテロと判定されたS3-88 (2) (AaDd) とS3-49 (3) (AaCc) の2個体は、新大不稔3号が母樹であることから、3つの遺伝子座すべてで雄性不稔アレルをヘテロ接合体として有する個体 (トリプルヘテロ個体: AaDdEeとAaCcEe) の可能性があるため、

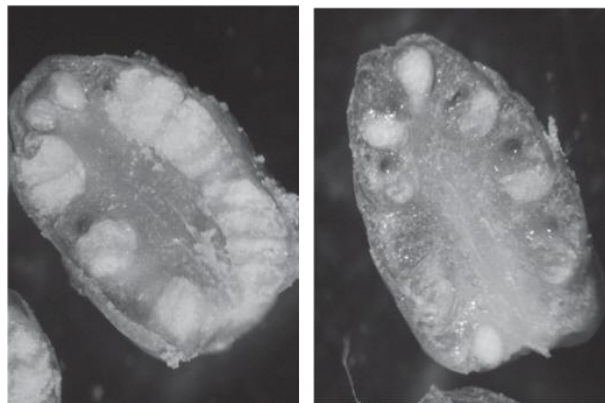


写真-1. 新大不稔1号とT-126 (2) の交配で得られた実生苗の不可稔判定例: (左) 可稔判定個体, (右) 不明判定個体

引き続き後代検定による調査を行いたい。

(2) 選抜の手法

本研究の不可稔判定は2～3年生以上の十分に成長した苗木の雄花で行っているが(表-2), 1回の調査では判定できない個体もあり検定交配による選抜は非常に時間を要する。近年では, 雄性不稔アレルを持つ個体を選抜するDNAマーカーの開発も進んでおり, *MS1* 遺伝子座および*MS4* 遺伝子座における選抜マーカー (Hasegawa et al. 2020; Watanabe et al. 2024) も開発されている。マーカー未開発の遺伝子座については引き続き検定交配による選抜を行い, *MS1* 遺伝子座および*MS4* 遺伝子座についてはマーカー選抜技術を併用することで, 効率的に無花粉スギ育種素材の選抜や品種開発を進めていく必要があると考えられる。

IV. おわりに

無花粉スギ実生品種の開発には, 雄性不稔アレルを保有する育種素材を十分に確保することが重要である。活用可能な育種素材に限られると, 交配親間の血縁度が高くなり, 実生苗への近交弱勢の影響が懸念される。また, 採種園造成において生産される種子の遺伝的多様性を確保するためにも, 十分な数の育種素材が必要である。一方, 無花粉スギ実生苗の生産効率を向上させるためには, 複数の雄性不稔遺伝子座において雄性不稔アレルを保有する個体の利用が有効と考えられる。さらに, これらの雄性不稔アレルを保有する育種素材や開発品種については, 成長特性を把握するため, 検定林の造成および継続的な調査が必要である。

V. 謝辞

本報告の作成にあたり, 新潟大学農学部の森口准教授には, ご多忙の中, 丁寧なご校閲と貴重なご助言を賜りました。ここに記して深く感謝申し上げます。

引用文献

Hasegawa Y, Ueno S, Wei FJ, Matsumoto A, Ujino-Ihara T, Moriguchi Y, Kasahara M, Fujino T, Shigenobu S, Yamaguchi K, Bino T, Hakamata T. 2020. Development of diagnostic PCR and LAMP

markers for *MALE STERILITY 1* (*MS1*) in *Cryptomeria japonica* D. Don. BMC Res Note. 13: 457.

樋口有未, 金子岳夫, 伊藤信治. 2009. 雄性不稔(無花粉)スギ品種の開発に関する試験 (I). 新潟森林研報. 50: 1-5.

平山聡子, 岩井淳治, 樋口有未, 金子岳夫, 森口喜成. 2021. *MALE STERILITY 1*とは異なる雄性不稔遺伝子を持つスギの選抜. 日林誌. 103: 161-167.

伊藤信治. 2004. スギカミキリ抵抗性品種の育成. 新潟県森林研報. 45: 1-5.

岩井淳治. 2024. 雄性不稔(無花粉)スギS3T家系の品種開発及び成長調査 (I) —選抜40個体さし木発根性及び3年生までの成長評価—. 新潟森林研報. 64: 14-35.

Kobayashi K, Watanabe M, Ueno S, Hasegawa Y, Hirayama S, Matsumura N, Tsurisaki E, Takeishi Y, Ito Y, Igarashi M, Moriguchi Y. 2026. Genetic characterization of the male-sterile Japanese cedar 'Fukushima-funen 3' reveals a naturally pyramided genotype and a novel *MS2* allele, and leads to the development of marker-assisted selection for the *MS2* locus. Trees, Forests and People. 24: 101203.

宮嶋大介, 吉井エリ, 細尾佳宏, 平英彰. 2010. スギ雄性不稔新大8号の細胞学的・遺伝的特性. 日林誌. 92: 106-109.

Moriguchi Y, Totsuka S, Iwai J, Matsumoto A, Ueno S, Tsumura Y. 2017. Pyramiding of male-sterile genes in *Cryptomeria japonica* D. Don with the aid of closely linked markers. Tree Genet Genomes. 13: 61. Moriguchi Y, Ueno S, Hasegawa Y, Tadama T, Watanabe M, Saito R, Hirayama S, Iwai J, Konno Y. 2020. Marker-assisted selection of trees with *MALE STERILITY 1* in *Cryptomeria japonica* D. Don. Forests. 11: 734.

林木遺伝子記号標記法委員会. 2016. 林木の遺伝子記号の標準化の改訂. 森林遺伝育種. 5: 134-137.

林野庁. 2025. 令和7年版 森林・林業白書: 62-64.

斎藤真己. 2010. スギ花粉症対策品種の開発. 日林誌. 92: 316-323.

Taira H, Saito M, Furuta Y. 1999. Inheritance of the trait of male sterility in *Cryptomeria japonica*. J

For Res. 4: 271-273.

富山県農林水産総合技術センター森林研究所, (独法) 森林総合研究所. 2009. 無花粉 (雄性不稔) スギのデータベース; [2026.1.23 参照].

<http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/mukahunsugi/mukahunsugi.pdf>.

Tsurisaki E, Nameta M, Shibata S, Hirayama S, Iwai J, Ohashi R, Otani M, Ito Y, Matsumura N, Moriguchi Y. 2023. Cytological analysis of male-sterile *MS5* Japanese Cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) and comparison with other male-sterile mutants. *J. Plant Biol.* 67: 11-23.

Masahiro Watanabe, Saneyoshi Ueno, Yoichi Hasegawa, Satoko Hirayama, Junji Iwai, Hiroyuki Kakui, Yoshinari Moriguchi. 2024. Development and application of a KASP marker for marker-assisted selection against the male-sterile gene *MALE STERILITY 4 (MS4)* in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) . *New Forests.* 55: 1349-1362.

吉井エリ, 平英彰. 2007. 「新大1号」「新大5号」におけるスギ雄性不稔の発現過程と遺伝的特性. *日林誌.* 89: 26-30.

エノキタケ菌床栽培におけるシイタケ廃菌床の利用 －炭酸カルシウムの添加効果－

清水達哉¹

要旨：スギおが粉を基材とするエノキタケ菌床栽培において、シイタケ廃菌床の利用可能性と炭酸カルシウムの添加効果を検討した。廃菌床の置換率（容積率）を0、25、50、100%とし、炭酸カルシウムの添加の有無を比較した結果、25%置換、25%置換と50%置換に炭酸カルシウムを添加した条件では、対照群と同等の収量および生育日数で栽培可能であった。一方、100%置換では収量が低下し、全量置換は困難であると示された。収量低下の要因は、廃菌床の混合による培地pHの低下と菌回りの遅れと考えられた。特にシイタケ廃菌床を含む培地においては、炭酸カルシウムの添加による増収効果が顕著であり、pH調整剤としての有効性が示唆された。

キーワード：チクマッシュ T-011, スギおが粉, pH調整剤, 培地基材, 資源の循環利用

I. はじめに

エノキタケ (*Flammulina velutipes*) は日本における主要な食用きのこの一つであり、長野県や新潟県を中心に年間約13万t生産されている（林野庁 2024）。エノキタケの栽培方法には菌床栽培と原木栽培がある（山本 2001）が、現在ではほとんどが菌床栽培によって行われている。

菌床栽培による食用きのこの生産増加に伴い、大量の廃菌床が排出されるようになった（村上 2014）。これら廃菌床の一部は有機肥料などとして再利用されている（寺嶋 2009）が、大半は廃棄物として取り扱われており、有効な用途開発が望まれている（村上 2014）。また、廃菌床を菌床栽培に再利用できれば、おが粉などの原材料費のコストダウン（寺嶋 2014；高島 2021）、資源の有効利用、環境保全に寄与する（高島 2021）と期待される。

エノキタケ菌床栽培において、廃菌床を培地基材と置換して利用可能か検証した研究はいくつか存在する。例えば清水（2025a）は、スギ (*Cryptomeria japonica*) おが粉を培地基材としたエノキタケ菌床栽培において、コーンコブミール主体の配合培地で栽培されたエノキタケ廃菌床の利用可能性を検証した。その結果、スギおが粉の容積率10～50%の置換であれば、対照培地の同程度以上の収量が期待できたが、70%以上になると収量が減少したことを報告している。また、清水（2025b）は、同様のエノキタケ菌床栽培において、ナメコ (*Pholiota*

microspora) 廃菌床の利用可能性を検証した。その結果、スギおが粉の容積率10～50%、および100%の置換であれば、対照培地の同程度の収量が期待できたが、70%では収量が大きく減少したことを報告している。さらに、武田（2024）は、同様のエノキタケ菌床栽培において、シイタケ (*Lentinula edodes*) 廃菌床の利用可能性を検証した。その結果、スギおが粉の容積率30%をシイタケ廃菌床で置換し、添加材の消石灰を少量添加した場合、培地基材がスギおが粉のみで構成された培地と比較して、子実体収量が増加したと報告している。

しかしながら、武田（2024）の栽培試験では、シイタケ廃菌床の置換率が30%に限定されており、置換率の変化が収量に与える影響については明らかでない。また、消石灰が添加されたのはシイタケ廃菌床を含む培地に限られており、収量増加に寄与したのが廃菌床か添加材かは不明である。そこで本研究では、スギおが粉を培地基材としたエノキタケ菌床栽培において、シイタケ廃菌床の利用可能性と、シイタケ廃菌床の置換率を段階的に変化させた培地に炭酸カルシウムを添加し、その効果を検証した。

II. 材料と方法

1. 供試菌

チクマッシュ T-011（株式会社千曲化成）のおが粉種菌を使用した。

¹新潟県森林研究所（〒958-0264 新潟県村上市鵜渡路2249-5）
（2025年5月19日受付，2025年7月25日受理）

2. 培地資材

培地基材には、2022年12月22日に購入後、16か月野積みしたスギおが粉を使用した。スギおが粉の粒度ごとの質量割合は、2.8 mm以上が3.4%、2.0 mm以上2.8 mm未満が40.8%、1.4 mm以上2.0 mm未満が48.5%、1.4 mm未満が7.3%だった。培地基材の置換材のシイタケ廃菌床は、2024年4月10日に新潟県内の菌床シイタケ生産施設から収集した。収集したシイタケ廃菌床は約3 cm厚に切り分け、含水率（湿量基準）が約50%になるまで屋外で乾燥後、樹木粉碎機（株式会社大橋、GS70G）で粒状に粉碎した。粉碎後室温約2℃の暗所で培地調整直前まで保管した。栄養材には、米ぬか（JA北新潟）を使用した。添加材には、炭酸カルシウム（有恒鋳業株式会社、飼料用30 kg入り、以下、炭カル）を使用した。

3. 培地調整と種菌の接種

2024年4月25日に培地調整、その翌日の26日に接種した。培地基材のすべてをスギおが粉で構成した培地（以下、0%置換）を対照群、培地基材のスギおが粉の容積率25、50、および100%をシイタケ廃菌床で置換した培地（以下、x%置換と表記：xはそれぞれの置換率）、0、25、50、および100%置換に炭カルを1供試ビンあたり乾燥質量1.90 g添加した培地（以下、x%置換&炭カルと表記：xはそれぞれの置換率）を実験群とした計八つの試験培地を設定した（表-1）。栄養材の米ぬかは、1供試ビンあたりの混合量を乾燥質量90 gとした。試験培地の含水率は水道水を加えて、計算上の値が64.15%となるように水分量を調整した。

培地調整については、各試験培地をミキサー（協全商事株式会社）で攪拌後、850 mLのPPビン（ホクト産業株式会社）に手詰めした。供試ビンは各試験培地あたり32本作製し、16本ずつコンテナに格納後（4行×4列）、瓶詰め機（田中技研工業株式会社）で接種孔を培地上面中央に1か所成形した。培地調整と瓶詰め作業は約3

時間で完了し、その後、高圧殺菌釜（株式会社千代田製作所、TFK-T06 W-C）で高圧殺菌（119℃、60分）した。高圧殺菌後、半日程度室温17.0℃に設定されたクリーンルーム内で放熱し、手作業でおが粉種菌を約10 g接種した。

4. 栽培条件と子実体の収穫

接種後、試験培地ごとに供試ビンの管理位置が偏らないように、一つのコンテナ内に各試験培地2本ずつ格納した。

接種後の培養は、室温16.0℃、湿度70%、二酸化炭素濃度2,000 ppm以下になるように設定した暗黒条件下の培養室内で28日間行った。なお、本研究では対照培地と同様のサイクルで栽培できるかに着目したため、対照培地の菌回り完了に合わせて培養を終了した。培養は台車に載せたまま行った。

培養完了後、菌掻機を使用して発生処理を行った。発生処理は接種した種菌と培地表面を削り取る「ぶっ掻き」で行った。

芽出し工程は、室温13.5℃、湿度97%以上、二酸化炭素濃度2,000 ppm以下に設定した暗黒条件下の部屋で管理した。子実体の傘径が約1 mm、子実体が約3 mmに伸長し、接種孔が子実体で概ね塞がった時点で芽出し完了とみなし、生育工程に移した。この際、子実体の成長に差がみられたことから、以降は収穫に至るまで成長の程度が類似する供試ビンごとにコンテナで管理した。

生育工程の前期は、室温6.0℃、二酸化炭素濃度2,000 ppm以下に設定した暗黒条件下の部屋で管理した。生育工程の後期は、子実体が約1.5 cmに伸長した時点で、室温5.0℃、二酸化炭素濃度2,000 ppm以下に設定した暗黒条件下の部屋に移すとともに、光抑制（15分/日×2日、自走式光源：長野産業NS-0900、白色蛍光灯、最大照度：1,200 lx）を行った。

光抑制後、子実体が約6.0 cmに伸長した時点で、プラ

表-1. 栽培試験の培地条件

試験培地	培地基材 (g, 乾燥質量)		栄養材 (g, 乾燥質量)	添加材 (g, 乾燥質量)	水 (g)	充填量 (g)	含水率 (%, 湿量基準)	培地pH		n
	スギおが粉	シイタケ廃菌床	米ぬか	炭酸カルシウム				殺菌前	殺菌後	
0%置換(対照群)	100.00	-	90.00	-	340.00	530	64.15	6.678	6.172	32
25%置換	75.00	37.33	90.00	-	362.06	564	64.15	5.966	5.566	32
50%置換	50.00	74.65	90.00	-	384.11	599	64.15	5.525	5.283	32
100%置換	0.00	149.30	90.00	-	428.22	668	64.15	5.039	4.896	32
0%置換&炭カル	100.00	-	90.00	1.90	343.40	535	64.15	7.094	6.450	32
25%置換&炭カル	75.00	37.33	90.00	1.90	365.46	570	64.15	6.221	5.885	32
50%置換&炭カル	50.00	74.65	90.00	1.90	387.51	604	64.15	5.799	5.490	32
100%置換&炭カル	0.00	149.30	90.00	1.90	431.62	673	64.15	5.360	5.115	32

スチック製青色有孔巻紙（ホクト産業株式会社，高さ12.5 cm）で紙巻きした。なお，生育工程は湿度調整を行っていないが，湿度は約80～90%で推移した。

子実体の収穫は，株のほぼすべての菌傘が巻紙の高さを越えた時点で行い，ビン口から石づき方向に3.0 cmの位置で子実体を切り取った。収穫直後に子実体の湿潤質量を0.1 g単位で測定し，これを1供試ビンあたりの収量とした。併せて，発生処理から収穫までの日数（以下，生育日数）を記録し，試験培地ごとに平均生育日数を求めた。

5. 培地のpH測定

各試験培地の殺菌前と殺菌後の培地pHを測定した。試験培地ごとに栽培試験の供試ビン32本のほかに2本を作製し，このうち片方は栽培試験の供試ビンとともに高圧殺菌した。培地のpHの測定は，殺菌しなかったものは培地調整後，殺菌したものは高圧殺菌から半日程度室温17℃に設定されたクリーンルーム内で放熱した後に行った。培地を100 mLコニカルビーカーに10 g秤量し，そこに蒸留水を50 mL加え，5分間ホットプレートスターラー（HOT PLATE PC-351（AGCテクノグラス株式会社）とC-MAG HS 7（IKA）を併用）で攪拌し，室温で60分間静置した後，上澄み液のpHをpHメーター（株式会社堀場製作所，LAQUA F-72）で測定した（表-1）。

6. 統計解析

シイタケ廃菌床の置換率および添加材の炭カル添加がエノキタケの1供試ビンあたりの収量に与える効果を評価するため，一般化線形モデル（以下，GLM）で解析した。GLMのパラメータはベイズ推定した。応答変数には，1供試ビンあたりの収量を使用した。説明変数には，シイタケ廃菌床の置換率（0，25，50，70%の4区分の質的データ），炭カル添加の有無（なし，ありの2区分の質的データ），およびシイタケ廃菌床の置換率と炭カル添加の有無の交互作用を使用した。ベイズ推定におけるMCMCのサンプリング設定は，バーンイン回数を1,000回，乱数生成の繰り返し数を2,000回，チェーン数を4本，事前分布には無情報分布を適用した。また，応答変数の誤差構造は正規分布，リンク関数はidentityとした。モデルの収束判断は収束指標であるRhatが1.1未満であることにより行った（松浦 2016）。なお，説明変数の効果は，事後期待値の95%信用区間にゼロを含まない場合に統計学的に有意であると判断した。GLM解析はR version 4.4.2（R Core Team 2024）のbrmsパッケージのbrm関数（Bürkner 2017）で行い，Stan version 2.23

（Stan Development Team 2020）を使用してベイズ推定した。

Ⅲ. 結 果

1. 栽培試験

収穫時の子実体を写真-1に示す。1供試ビンあたりの収量は，25%置換&炭カルで最も多く，次いで0%置換&炭カル，0%置換，25%置換，50%置換&炭カル，100%置換&炭カル，50%置換，100%置換の順に多かった（表-2）。また，生育日数は，0%置換&炭カルで最も短く，次いで25%置換&炭カル，50%置換&炭カル，25%置換，0%置換，50%置換，100%置換&炭カル，100%置換の順に短かった（表-2）。

2. GLM解析

GLM解析のRhatはすべてのモデルで1.1未満であり，MCMCは収束したと判断した。

1供試ビンあたりの収量を応答変数としたGLM解析の結果（表-3），50%置換と炭カル添加の交互作用は対照群に対して収量に有意な正の効果があった。50，100%置換は対照群に対して収量に有意な負の効果があった。25%置換，炭カル添加，25%置換と炭カル添加の交互作用，および100%置換と炭カル添加の交互作用は対照群に対して収量に有意な効果が認められなかった。

Ⅳ. 考 察

対照群の0%置換と同程度の収量，生育日数で栽培を行うことができたのは25%置換，0%置換&炭カル，25%置換&炭カル，および50%置換&炭カルであった（表-2）。一方で，50，100%置換，および100%置換&炭カルでは0%置換よりも収量が約20～30 g減少した（表-2）。したがって，シイタケ廃菌床はエノキタケ菌床栽培においてスギおが粉で構成される培地と同様に栽培するうえで，培地基材の全量の置き換えは困難であるが炭カルを添加することで置換材として利用できると考えられた。

GLM解析の結果（表-3），エノキタケ子実体の収量はシイタケ廃菌床の置換率の増加に伴い大きく減少した。主な要因として，培地pHの低下が影響したと考えられた。エノキタケの菌糸体はpH 4～8で生長し，pH 6付近に最適域がある（中村 2000）とされている。各試験培地の殺菌後の培地pHは，0%置換が6.172であった一方で，シイタケ廃菌床の置換率の増加によりpHは6から酸

性側に偏った(表-1)。炭カル添加により比較的pHが6に近づいたことで増収したことからとも言えるだろう。また、シイタケ廃菌床の多い培地では菌回りが遅れる傾向があり、十分な培養期間を設けなかったことも減収の一因と考えられた。本研究では対照培地と同様のサイクルで栽培できるかに着目したため、対照培地の菌回り完了に合わせて発生処理を行った。スギおが粉を培地基材としたエノキタケ菌床栽培において、廃菌床の置換率が高いほど菌回りが遅れる現象はエノキタケ廃菌床(清水2025a)、ナメコ廃菌床(清水2025b)を使用した場合でも確認されている。エノキタケ菌床栽培において、培養後の適切な発生処理のタイミングは菌回り完了時であり、早すぎても遅すぎても収量に影響する(山本2001)ことから、最適な菌回り日数の検討が望まれる。

炭カルの添加により、エノキタケ子実体の収量は有意に、あるいは有意とは言えないが増加した(表-2, 3)。

表-2. 各試験培地のエノキタケ子実体の収量および生育日数

試験培地	収量(g/ビン)		生育日数(日)		n
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
0%置換(対照群)	225.37	5.23	27.31	0.82	32
25%置換	223.85	16.00	27.28	0.77	32
50%置換	205.01	13.76	28.13	0.87	32
100%置換	193.45	21.78	29.28	1.20	32
0%置換&炭カル	229.52	7.30	26.69	0.64	32
25%置換&炭カル	236.71	11.00	26.75	0.67	32
50%置換&炭カル	221.99	21.50	27.22	0.79	32
100%置換&炭カル	208.39	22.23	28.38	0.83	32

表-3. エノキタケ子実体の収量を応答変数としたGLM解析の結果

項目	事後期待値	事後標準偏差	95%信用区間	
			下限	上限
Intercept (0%置換)*	225.38	2.89	219.65	231.02
25%置換の効果	-1.53	4.14	-9.55	6.90
50%置換の効果*	-20.31	4.10	-28.25	-12.10
100%置換の効果*	-31.93	4.09	-39.82	-23.91
炭カル添加の効果	4.19	4.11	-3.80	12.29
25%置換と炭カル添加の交互作用	8.70	5.77	-2.56	19.82
50%置換と炭カル添加の交互作用*	12.72	5.83	1.45	24.30
100%置換と炭カル添加の交互作用	10.72	5.79	-0.53	21.94

単位はg。

*が付いた説明変数は、95%信用区間にゼロを含まなかったことを示す。

特に、シイタケ廃菌床を加えた試験培地では、シイタケ廃菌床を加えなかった培地(0%置換&炭カル)よりも増収効果が大きかった(表-3)。このことから、シイタケ廃菌床を基材として用いる場合、pH調整剤として炭カルを添加することが有効であると示唆された。ただし、本研究での添加量ではpHは最適とされるpH6に達せず、より高い添加量による効果の検証が今後の課題である。

V. 謝 辞

本研究で使用したシイタケ廃菌床は株式会社SHKに提供いただいた。この場を借りて深く感謝申し上げる。

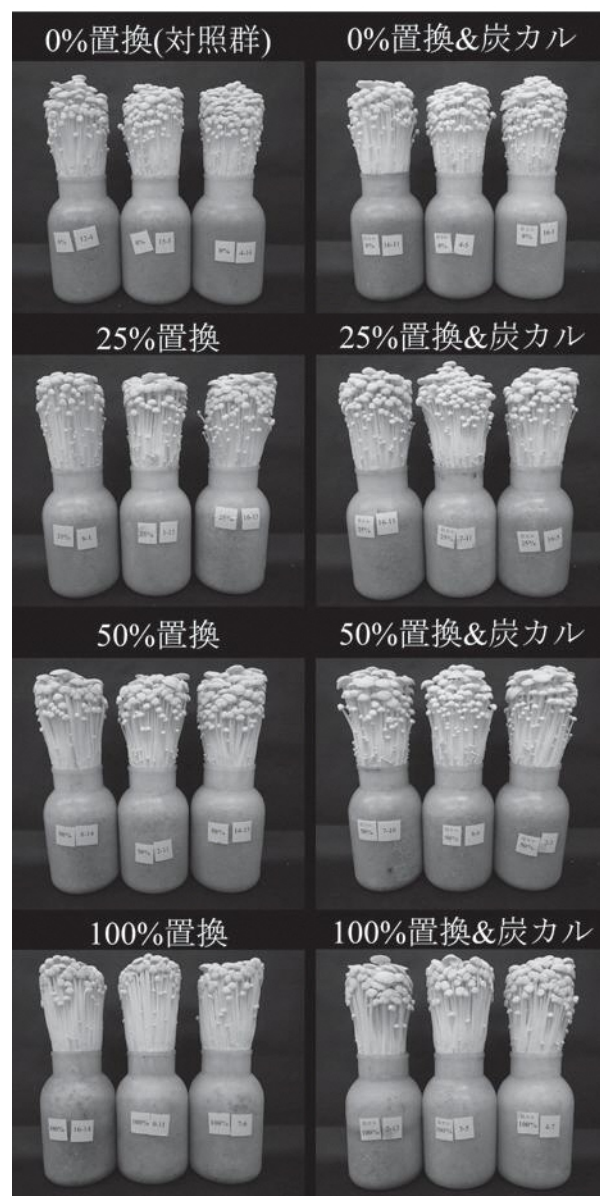


写真-1. 各試験培地のエノキタケ子実体

開示すべき利益相反はない。

引用文献

- Bürkner PC. 2017. brms: An R package for Bayesian multilevel models using Stan. *J Stat Softw.* 80: 1-28.
- 松浦健太郎. 2016. StanとRでベイズ統計モデリング. 東京: 共立出版.
- 村上重幸. 2014. 近年のきのこ栽培品種開発の方向. 大橋等編, 改訂版最新きのこ栽培技術. 東京: 株式会社プランツワールド. p. 18-22.
- 中村公義. 2000. エノキタケ. 衣川堅二郎, 小川眞編, きのこハンドブック. 東京: 朝倉書店. p. 68-76.
- R Core Team. 2024. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- 林野庁. 2024. 令和6年版森林・林業白書. 東京: 全国林業改良普及協会.
- 清水達哉. 2025a. スギおが粉エノキタケ菌床栽培におけるコーンコブミール培地のエノキタケ廃菌床による培地基材置換率の検証. *新潟森林研報.* 65: 20-26.
- 清水達哉. 2025b. スギおが粉エノキタケ菌床栽培におけるナメコ廃菌床の利用. *日林誌.* 107: 123-127.
- Stan Development Team. 2020. Stan: A C++ Library for Probability and Sampling, Version 2.23.
- 高畠幸司. 2021. 未利用資材による食用きのこ生産技術の開発. *日本きのこ学会誌.* 29: 5-14.
- 武田綾子. 2024. エノキタケ菌床栽培におけるシイタケ廃菌床の利用. *新潟森林研報.* 64: 46-51.
- 寺嶋芳江. 2009. 千葉県におけるきのこ培地材料用おが粉の流通および廃培地利用の現状. *千葉農林総研研報.* 1: 1-12.
- 寺嶋芳江. 2014. 多様化する培地材料の特徴と利用. 大橋等編, 改訂版最新きのこ栽培技術. 東京: 株式会社プランツワールド. p. 29-36.
- 山本秀樹. 2001. エノキタケ. 大森清寿・小出博志編, キノコ栽培全科. 東京: 農山漁村文化協会. p. 85-96.

ナメコ「新潟森研Pn1号」の従属品種「11-1」の特性 －発生処理時の注水および芽出し管理の違いが子実体に与える効果－

清水達哉¹

要旨：ナメコ「11-1」の菌床栽培における発生処理時の注水および芽出し管理の違いが子実体に与える効果を検証した。その結果、発生処理時の2時間の注水を行わないことは、収量に与える効果がほとんどなかったが、子実体（傘、柄の長さ、柄の太さ）が大きくなる効果や生育日数を大きく延長させる効果があると考えられた。また、菌床面のウレタン被覆や栽培ビンの正立、倒立による芽出し管理の違いは、全体的には収量および生育日数に与える効果がほとんどないことが考えられた。

キーワード：ナメコ, 11-1, 菌床栽培, 発生処理, 芽出し管理

I. はじめに

新潟県が開発、品種登録を行ったナメコ (*Pholiota microspora*)「新潟森研Pn1号」の従属品種である「11-1」は、子実体の菌さんが厚い、菌柄が太く肉質が軟らかい、そしてソフトな食感があるといった「新潟森研Pn1号」の特徴（阿部・松本 2007）があり、加えて「新潟森研Pn1号」の問題点だった菌さんの巻き込みの弱さを改善した菌株である（伊藤 2015）。しかしながら、「11-1」の栽培特性については、菌床栽培における培地充填量が収量に及ぼす影響（清水 2024）の他に調べられていない。

近年の施設空調型ナメコ栽培において、従来よりも短い栽培ローテーションで収穫を行う高速栽培という方式がある（木村 2014）。施設空調型ナメコ栽培における高速栽培とは、培養日数が60日間で発生操作の可能な専用品種を使用し、1回発生のみの収穫として発生管理期間を20日間以内、合計栽培日数で80日間以内とする極めて短期間での栽培ローテーション方式のことである（木村 2014）。高速栽培では、発芽を同調化させることが重要であるとされ、菌搔き終了後の菌床は3時間程度の注水処理を行ってから芽出し管理を行う（木村 2014）。また、発芽の同調化は、芽出し初期の加湿により決定されるといわれており、特に発生処理後の5日間の芽出し初期の加湿を十分に行い、菌床表面を一時的に乾燥させないように注意する（木村 2014）。

当所では、ナメコ栽培の芽出し管理における菌床面の乾燥対策として、発生処理の菌搔き後に一定時間注水後、余剰水を排出したうえで、湿らせた軟質ポリウレタンフォーム（以下、ウレタン）で菌床面を被覆する（例えば、清水・武田 2024）、正立して管理した栽培ビンの菌床面に時折散水する（例えば、伊藤 2011）などしている。しかしながら、「11-1」の栽培において、発生処理時の注水および芽出し管理の違いが子実体に与える効果についてはわかっていない。発生処理時の注水および芽出し管理の工程を省略しても、十分に芽出しが同調し、通常の栽培工程と同様の栽培結果が得られれば、栽培工程が簡素化されることにより低コスト化につながる。また、注水および芽出し管理の違いにより、特徴的な子実体が生産できれば、メーカー品種等と差別化でき、一つの付加価値となると考えられる。そこで本研究では、ナメコ「11-1」の菌床栽培における発生処理時の注水および芽出し管理の違いが子実体に与える効果を検証した。

II. 材料と方法

1. 供試菌

新潟県が開発、品種登録を行った「新潟森研Pn1号」の従属品種である「11-1」（伊藤 2015）を使用した。

2. 培地資材

培地基材には、2024年5月24日に購入後、ポリプロピ

¹新潟県森林研究所（〒958-0264 新潟県村上市鵜渡路2249-5）
（2025年4月30日受付，2025年8月22日受理）

レン100%再生材製のひも付き袋 (60×90 cm) に入れて屋根付きの小屋で風雨に晒されないように常温保管したコナラ (*Quercus serrata*) おが粉を使用した。栄養材には、特ふすま (かちどき製粉株式会社, 20 kg袋入り) を使用した。添加材には、炭酸カルシウム (有恒鉱業株式会社, 飼料用30 kg入り) を使用した。

3. 比較群の設定

「11-1」の菌床栽培における発生処理時の注水および芽出し管理の違いが収量に与える効果を検証するために八つの比較群を設定した (表-1)。各比較群に行った発生処理時の注水および芽出し管理の処理については後述する。

表-1. 各比較群の1供試ビンあたりの培地充填量

比較群	注水	芽出し管理	培地充填量 (g/ビン)				n
			平均値	標準偏差	最小値	最大値	
対照群		湿らせたウレタンで被覆・正立	560.38	25.13	524	611	32
実験群1		ウレタンで被覆・正立	564.81	21.48	522	619	32
実験群2	あり	被覆なし・正立	564.53	19.67	529	612	32
実験群3		被覆なし・倒立	571.00	25.56	516	641	32
実験群4		湿らせたウレタンで被覆・正立	567.88	26.32	519	618	32
実験群5		ウレタンで被覆・正立	569.16	30.05	521	640	32
実験群6	なし	被覆なし・正立	570.34	22.92	523	623	32
実験群7		被覆なし・倒立	561.00	23.93	515	598	32

4. 培地調整と菌種の接種

2024年7月10日に培地調整, その翌日の11日に接種した。培地は, コナラおが粉, 特ふすま, および炭酸カルシウムを乾燥質量比77.5 : 22.5 : 1.0で混合した。培地の含水率は水道水を加えて, 計算上の値が62.0% (湿量基準) となるように水分量を調整した。培地調整については, ミキサー (協全商事株式会社) で攪拌後, 800 mLのPPビン (ホクト産業株式会社) に培地を無作為に515 ~ 641 g手詰めした (表-1)。供試ビンは合計256本作製し, 16本ずつ合計16コンテナに格納後 (4行×4列), 瓶詰め機 (田中技研工業株式会社) で接種孔を培地上面中央に1か所成形した。培地調整と瓶詰め作業は約3時間で完了し, その後, 高圧殺菌釜 (株式会社千代田製作所, TFK-T06 W-C) で高圧殺菌 (119°C, 60分) した。高圧殺菌後, 半日程度室温17.0°Cに設定されたクリーンルーム内で放熱し, 手作業でおが粉菌種を約10 g接種した。

5. 栽培条件と子実体の収穫

接種後の培養は, 室温17.0°C, 湿度70%, 二酸化炭素濃度2,000 ppm以下になるように設定した暗黒条件下の培養室内で60日間行った。培養は台車に乗せたまま行った。

培養完了後, 全供試ビンが無作為に32本ずつ八つの比較群に振り分けた (表-1)。その後, 菌掻機 (ホクト産業株式会社) を使用して発生処理を行った。発生処理

は「ひら掻き」で行い, 八つの比較群のうち, 発生処理時に注水する四つの比較群 (表-1, 対照群, 実験群1 ~ 3) は, 常温下で2時間程度水道水を注水後, ビンを倒立させビン内の余剰水を排出し, 芽出し管理に移行した。八つの比較群のうち, 残りの四つの比較群 (表-1, 実験群4 ~ 7) は, 発生処理後すぐに芽出し管理に移行した。

芽出し管理は, 室温16.0°C, 湿度96%以上, 二酸化炭素濃度2,000 ppm以下に設定した暗黒条件下の部屋で原基形成まで管理した。各比較群の供試ビンを1コンテナあたり2本ずつ位置に偏りがないように格納して管理した (写真-1)。八つの比較群のうち, 対照群, 実験群4は菌床面を水道水で湿らせたウレタン (厚さ8 mm, 幅約12×約12 cm) で被覆し, ビンを正立させて管理した。なお, 湿らせたウレタンが乾いた場合は時折水道水で湿らせた。実験群1, 5は湿らせていないウレタンで被覆し, ビンを正立させて管理した。実験群2, 6は菌床面を被覆せず, ビンを正立させて管理した。実験群3, 7は菌床面を被覆せず, ビンを倒立させて管理した。



写真-1. ナメコの芽出し管理における各比較群の供試ビンの管理状況

原基形成後, 生育工程に移行した。生育工程は, 芽出し管理においてウレタンで被覆した供試ビンはウレタンを除去し, 倒立して管理した供試ビンは正立させて, 室温12.5°C, 湿度96%以上, 二酸化炭素濃度1,500 ppm以下に設定した部屋で管理し, 白色蛍光灯で1日あたり8時間照射した。白色蛍光灯の照度は, 部屋中央で約100 lx, 各コンテナ上で約30 lxとなるように調整した。白色蛍光灯による1日あたり8時間の照射は収穫まで続いた。なお, 原基形成が完了するまでに要する期間が各供試ビンで異なったことから, 原基形成後は, 成長速度が類似する供試ビンごとにコンテナに格納して収穫まで管理した。

子実体の収穫は、子実体の内皮膜が破れる直前に行った。調査は1番収穫までとし、ビンの口より上部の生質量を0.1 g単位（株式会社エー・アンド・デイ、EW-1500i）で測定し、これを1供試ビンあたりの収量として記録した。収穫に併せて、発生処理から収穫までの日数（以下、生育日数）を記録し、比較群ごとに平均生育日数を求めた。

6. 統計解析

「11-1」の菌床栽培における発生処理時の注水および芽出し管理の違いが1供試ビンあたりの収量に与える効果を評価するため、一般化線形モデル（以下、GLM）で解析した。GLM解析のパラメータはベイズ推定した。応答変数には害菌による汚染等の被害がなかった供試ビンの、1供試ビンあたりの収量を使用した。なお、全供試ビンに被害はみられなかった。説明変数には発生処理時の注水の有無（あり、なしの2区分の質的データ）、芽出し管理（「湿らせたウレタンで被覆・正立」、「ウレタンで被覆・正立」、「被覆なし・正立」、および「被覆なし・倒立」の4区分の質的データ）、および培地充填量（連続データ）を使用した。ベイズ推定におけるMCMCのサンプリング設定は、バーンイン回数を1,000回、乱数生成の繰り返し数を2,000回、チェーン数を4本、事前分布には無情報分布を適用した。また、応答変数の誤差構造は正規分布、リンク関数はidentityとした。

また、「11-1」の菌床栽培における発生処理時の注水および芽出し管理の違いが生育日数に与える効果を評価するため、GLMで解析した。応答変数には供試ビンの生育日数を使用した。説明変数とベイズ推定の設定は1供試ビンあたりの収量と同様とした。なお、応答変数の誤差構造については、正規分布（リンク関数はidentity）とポアソン分布（リンク関数はlog）の2パターンでモデルを構築しWAICを比較したところ、正規分布のモデルのWAICが小さく、モデルの精度が高かったため正規分

布を採用した。

モデルの収束判断は収束指標であるRhatが1.1未満であることにより行った（松浦 2016）。なお、説明変数の効果は、事後分布の95%信用区間にゼロを含まない場合に統計学的に有意であると判断した。

7. 使用した統計解析ソフトウェア

GLM解析はR version 4.4.0（R Core Team 2024）のbrmsパッケージのbrm関数（Bürkner 2017）で行い、Stan version 2.23（Stan Development Team 2020）を使用してベイズ推定した。

Ⅲ. 結 果

1. 栽培試験

栽培試験における収穫時の子実体を写真-2に示す。全供試ビンが収穫に至った。詳細の調査は行っていないが、発生処理時に注水した対照群、実験群1～3の子実体よりも、注水しなかった実験群4～7の子実体の傘が大きく、柄が長く、柄が太くなり、また、子実体の芽数が少なかった（写真-2）。また、注水しなかった実験群4～7では、ビン内部に子実体が発生した供試ビンが散見された（写真-3）。

1供試ビンあたりの平均収量は、実験群6で最も大きく、次いで実験群5、2、対照群、実験群3、1、7、4の順に大きかった（表-2）。また、各比較群の平均収量の差は約5gと小さかった（表-2）。さらに、各比較群の収量の標準偏差は、発生処理時に注水した比較群より注水しなかった比較群のほうが大きい傾向があった（表-2）。

平均生育日数は、実験群2で最も短く、次いで実験群1、対照群、実験群3、6、7、5、4の順に短かった（表-2）。また、各比較群の平均生育日数は、発生処理時に注水した比較群より注水しなかった比較群のほうが長い傾向があった（表-2）。

表-2. 各比較群のナメコの子実体収量と生育日数

比較群	注水	芽出し管理	収量 (g/ビン)				生育日数 (日)				n
			平均値	標準偏差	最小値	最大値	平均値	標準偏差	最小値	最大値	
対照群	あり	湿らせたウレタンで被覆・正立	117.97	10.27	101.70	143.90	17.31	0.74	16	19	32
実験群1		ウレタンで被覆・正立	115.41	11.91	98.30	148.00	17.13	0.71	16	19	32
実験群2		被覆なし・正立	119.04	11.64	98.00	150.20	16.78	0.79	16	19	32
実験群3		被覆なし・倒立	116.71	11.79	89.20	147.20	18.00	1.68	16	23	32
実験群4	なし	湿らせたウレタンで被覆・正立	113.87	22.82	57.80	164.50	24.75	3.93	19	36	32
実験群5		ウレタンで被覆・正立	120.35	15.18	81.80	168.50	23.59	3.74	18	30	32
実験群6		被覆なし・正立	121.72	13.74	98.10	153.20	20.97	2.21	17	25	32
実験群7		被覆なし・倒立	114.16	16.26	63.00	136.90	23.50	4.30	18	38	32



対照群
(注水あり, 湿らせたウレタンで被覆・正立)



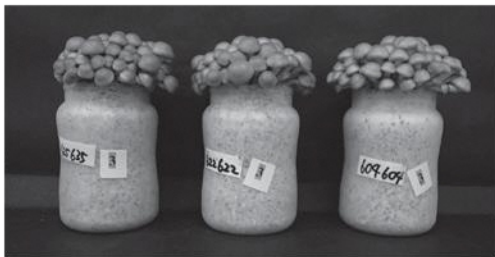
実験群4
(注水なし, 湿らせたウレタンで被覆・正立)



実験群1
(注水あり, ウレタンで被覆・正立)



実験群5
(注水なし, ウレタンで被覆・正立)



実験群2
(注水あり, 被覆なし・正立)



実験群6
(注水なし, 被覆なし・正立)



実験群3
(注水あり, 被覆なし・倒立)



実験群7
(注水なし, 被覆なし・倒立)

写真-2. 各比較群のナメコ子実体

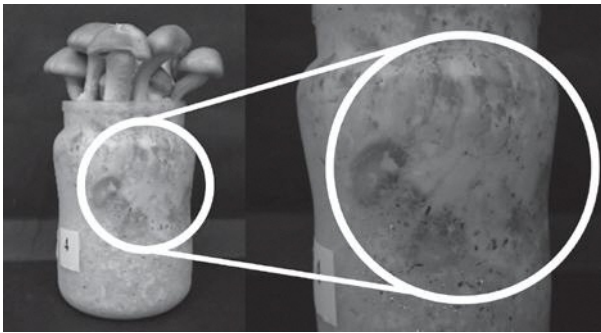


写真-3. 注水しなかった比較群でみられたビン内に発生したナメコ子実体（円の内側）

2. GLM解析

GLM解析のRhatはすべてのモデルで1.1未満であり、MCMCは収束したと判断した。

1供試ビンあたりの収量を応答変数としたGLM解析の結果（表-3）、培地充填量には有意な正の効果があった。発生処理時の注水の有無および芽出し管理には有意な効果は認められなかった。

生育日数を応答変数としたGLM解析の結果（表-4）、発生処理時の注水「あり」に対する「なし」の効果および培地充填量には有意な正の効果があった。一方で、芽出し管理における「湿らせたウレタンで被覆・正立」に対する「被覆なし・正立」の効果には有意な負の効果があった。芽出し管理における「湿らせたウレタンで被覆・正立」に対する「ウレタンで被覆・正立」の効果および「湿らせたウレタンで被覆・正立」に対する「被覆なし・倒立」の効果には有意な効果が認められなかった。

IV. 考 察

本研究では、ナメコ「11-1」の菌床栽培における発生処理時の注水および芽出し管理の違いが子実体に与える効果を検証した。

発生処理時に注水した対照群、実験群1～3の子実体よりも、注水しなかった実験群4～7の子実体は傘が大きく、柄が長く、柄が太くなった（写真-2）。ナメコの販売価格は低迷しており（木村 2022）、このような状況を打開するには、生産物の付加価値を高めることにより、販売価格を上げていくことが一つの手法として考えられる。例えば、生産現場で主に生産されているナメコは、多収、小粒、子実体個数が多く、短い培養日数で栽培できるメーカー品種であることから、それよりも傘が大きく、大粒のナメコが生産できれば差別化可能であり、一つの付加価値となると考えられる。また、発生処理時

表-3. ナメコの子実体収量を応答変数としたGLMの結果

項目	事後期待値	事後標準偏差	95%信用区間	
			下限	上限
Intercept	-3.97	19.98	-42.47	36.74
注水「あり」に対する「なし」の効果	-0.13	1.70	-3.47	3.19
「湿らせたウレタンで被覆・正立」に対する「ウレタンで被覆・正立」の効果	1.35	2.46	-3.62	6.10
「湿らせたウレタンで被覆・正立」に対する「被覆なし・正立」の効果	3.78	2.44	-1.00	8.59
「湿らせたウレタンで被覆・正立」に対する「被覆なし・倒立」の効果	-0.90	2.50	-5.84	3.91
培地充填量(g)*	0.21	0.04	0.14	0.28

単位はg。

*が付いた説明変数は、95%信用区間にゼロを含まなかったことを示す。

表-4. ナメコの生育日数を応答変数としたGLMの結果

項目	事後期待値	事後標準偏差	95%信用区間	
			下限	上限
Intercept	-3.30	3.80	-10.91	4.09
注水「あり」に対する「なし」の効果*	5.82	0.31	5.21	6.44
「湿らせたウレタンで被覆・正立」に対する「ウレタンで被覆・正立」の効果	-0.78	0.46	-1.68	0.12
「湿らせたウレタンで被覆・正立」に対する「被覆なし・正立」の効果*	-2.28	0.46	-3.20	-1.39
「湿らせたウレタンで被覆・正立」に対する「被覆なし・倒立」の効果	-0.34	0.46	-1.24	0.58
培地充填量(g)*	0.04	0.01	0.02	0.05

単位は日。

*が付いた説明変数は、95%信用区間にゼロを含まなかったことを示す。

の注水が1供試ビンあたりの収量に与える効果については、発生処理時の注水「あり」に対する「なし」の効果には有意な効果は認められず、事後期待値は-0.13と小さかった（表-3）。したがって、収量の観点においては、発生処理時の注水はほとんど効果がないことが示唆された。一方で、発生処理時の注水が生育日数に与える効果については、発生処理時の注水「あり」に対する「なし」の効果には有意な正の効果があり（表-4）、その事後期待値は5.82、つまり、約6日の差があり、発生処理時に注水することは短いサイクルでナメコを栽培するうえで重要であると考えられた。

芽出し管理が1供試ビンあたりの収量に与える効果については、有意な効果が認められず、事後期待値は最小で-0.90、最大でも3.78（表-3）、つまり、約0～4gの差であり、ほとんど効果がないことが示唆された。したがって、収量の観点においては、ウレタン被覆やビンの倒立などの芽出し管理を省略できる可能性が示唆された。また、芽出し管理が生育日数に与える効果については、「湿らせたウレタンで被覆・正立」に対する「被覆なし・正立」の効果には有意な負の効果があり（表-4）、その事後期

待値は-2.28, つまり, 発生処理時の注水と同様に短いサイクルでナメコを栽培するうえで「被覆なし・正立」の管理は重要であると考えられた。一方で, その他の芽出し管理の効果は「湿らせたウレタンで被覆・正立」とほとんど変わらないことが示唆された。

培地充填量が1供試ビンあたりの収量に与える効果については, 有意な正の効果があり, 事後期待値は0.21 (表-3) であった。清水 (2024) は, ナメコ「11-1」の菌床栽培における培地充填量が収量に及ぼす影響を調査し, 培地充填量465 ~ 585 gの範囲において, 培地充填量を1 g増やすと子実体収量が平均的に0.28 g増加すると報告している。したがって, ナメコ「11-1」の菌床栽培において栽培サイクルあたりの子実体収量を増やすにあたっては, 培地充填量を増やすことが好ましいと考えられた。また, 培地充填量が生育日数に与える効果については, 有意な正の効果があった (表-4)。しかしながら, 事後期待値は0.04とほとんどゼロであり, 培地充填量が生育日数に与える効果は小さいことが示唆された。

以上のことから, ナメコ「11-1」の菌床栽培において, 発生処理時の2時間の注水を行わないことは, 収量に与える効果がほとんどなく, 子実体の見た目を変えるという付加価値を高めるプラスの効果がある一方で, 生育日数を大きく延長させるマイナスの効果があると考えられた。また, 芽出し管理については, 収量に与える効果がほとんどなく, 生育日数に与える効果についても, 「湿らせたウレタンで被覆・正立」よりも「被覆なし・正立」のほうが生育日数を約2日短縮する効果があったが, その他の芽出し管理の方法では大きな違いがないことが考えられた。

開示すべき利益相反はない。

引用文献

- 阿部一好, 松本則行. 2007. ナメコ「新潟森研Pn1号」の特性について (I) - 品種登録のための基本的特性調査 -. 新潟森林研報. 48: 33-36.
- Bürkner PC. 2017. brms: An R package for Bayesian multilevel models using Stan. *J Stat Softw.* 80: 1-28.
- 伊藤幸介. 2011. ナメコ優良系統の選抜試験 (II) - 菌床栽培特性調査による二次, 三次選抜および現地栽培試験 -. 新潟森林研報. 52: 35-39.
- 伊藤幸介. 2015. ナメコ選抜菌株「11-1」の特性調査. 新潟森林研報. 56: 17-20.
- 木村栄一. 2014. 施設空調・高速型ナメコ栽培の最新技術. 大橋等編, 改訂版最新きのこ栽培技術. 東京: 株式会社プランツワールド. p. 173-178.
- 木村栄一. 2022. ナメコの経営指標. 特産情報きのこ年鑑編集部編, きのこ年鑑2022年度版. 東京: 株式会社プランツワールド. p. 236-239.
- 松浦健太郎. 2016. StanとRでベイズ統計モデリング. 東京: 共立出版.
- R Core Team. 2024. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- 清水達哉. 2024. ナメコ菌床ビン栽培における培地充填量の検討. 新潟森林研報. 64: 36-38.
- 清水達哉, 武田綾子. 2024. コナラおが粉の培地調整前の浸水処理が菌床栽培ナメコの収量と栽培日数に及ぼす効果. 新潟森林研報. 64: 39-45.
- Stan Development Team. 2020. Stan: A C++ Library for Probability and Sampling, Version 2.23.

スギおが粉を培地基材としたエノキタケ菌床有機栽培 －炭酸カルシウム添加および米ぬか混合量の検証－

清水達哉¹

要旨：有機栽培で使用可能なスギおが粉を培地基材としたエノキタケ菌床栽培における炭酸カルシウム添加効果、および米ぬかの混合量を検証した。供試菌には、雪ぼうしN-1とチクマッシュ T-011を使用した。栽培試験の結果、エノキタケ菌床栽培において、炭カル添加は増収効果があり、特にチクマッシュ T-011の菌床栽培において、培地資材の乾燥質量あたり0.3～0.5%添加するとその効果を最大化できる可能性があること、また、チクマッシュ T-011の菌床栽培において、850 mLの栽培ビンを使用する場合、米ぬかの混合量はスギおが粉100 gに対して90 g混合するよりも110 g混合することにより増収効果があることが示唆され、これらはエノキタケ菌床有機栽培において有効であると考えられた。

キーワード：雪ぼうしN-1, チクマッシュ T-011, 有機栽培

I. はじめに

エノキタケ (*Flammulina velutipes*) は全国で生産量が多い食用きのこの一つで、長野県や新潟県を中心に年間約13万t生産されている (林野庁 2024)。エノキタケをはじめとした栽培きのこは販売価格の低迷と産地間競争の激化により、生産者の経営が不安定である。そのような中で、消費者の健康志向や安全安心志向などから有機栽培による農作物の需要が高まっており、有機栽培による生産物は、それ以外の生産物との差別化により高付加価値化が可能であると考えられる。これまできのこの有機栽培で使用可能な資材は、培地基材としては基準を満たした樹木由来の資材、農産物、栄養材としては基準を満たした米ぬか、ふすまに限り使用可能であったが、2024年7月1日の有機農産物の日本農林規格の改正により、基準を満たした炭酸カルシウムや消石灰等のpH調整剤などが使用可能となった (農林水産省 2025)。

現在、一般的にエノキタケ菌床栽培に使用される培地基材はコーンコブミールであり (例えば、小山 2014; 風間・小山 2020)、エノキタケ菌床栽培が開始された当初から長らく一般的に使用されてきたスギ (*Cryptomeria japonica*) おが粉を培地基材とした場合に比べて増収する (例えば、中村 1997; 城石ら 2005) ため、エノキタケ生産者の生産性が飛躍的に向上した。しかしながら、コーンコブミールの多くは中国、タイ、インドネシア等か

ら輸入される (風間・小山 2020) ため、そのほとんどがきのこの有機栽培には使用できない (農林水産省 2024)。このため、有機栽培に使用可能な培地基材は樹木、つまりはエノキタケ菌床栽培が開始された当初から使用されてきたスギなどの針葉樹や広葉樹のおが粉に限られているといえるだろう。

きのこ菌床栽培における増収方法の一つとして、pH調整剤の添加による増収効果は広く確認されている。例えば、ナメコ (*Pholiota microspora*) については特に顕著で、消石灰や炭酸カルシウム等を使用して培地pHを殺菌前に6.0前後に調整することで、収量を20%程度増加させることができる (木村 2014)。エノキタケ菌床栽培における消石灰等のpH調整剤の添加効果についてはいくつ報告がある。例えば、高畠 (1998) は、培地基材をエゾマツ (*Picea jezoensis*) おが粉を用いた菌床栽培において貝化石の添加効果を検証した結果、培地質量に対して0.3%以上貝化石を添加すると増収し、最適濃度は2.0%で、添加しなかった場合と比較して20%増収したと報告している。その一方で、小越・武田 (2008) は、新潟県で開発、品種登録したエノキタケ品種である雪ぼうし2号の菌床栽培におけるカキ殻粉末を用いた栽培試験を行い、カキ殻粉末を1ビンあたり4 g添加した結果、添加しなかった場合と比較してわずかに収量が減少した (小越・武田 2008) と報告しており、カルシウムを主成分とするpH調整剤の添加効果は一定でない。また、ス

¹新潟県森林研究所 (〒958-0264 新潟県村上市鵜渡路2249-5)
(2025年4月30日受付, 2025年12月5日受理)

ギおが粉を培地基材としたエノキタケ菌床栽培における炭酸カルシウムの添加効果についての報告はみられない。さらに、本県が開発した雪ぼうしN-1は、2015年に出願し2020年に品種登録されたが、栽培特性に関する知見はほとんどない。

そこで本研究では、有機栽培で使用可能なスギおが粉を培地基材としたエノキタケ菌床栽培について、雪ぼうしN-1では炭酸カルシウム添加効果の一つの栽培試験で検証し、メーカー品種のチクマッシュ T-011では炭酸カルシウムの添加効果、および米ぬかの混合量を二つの栽培試験で検証した。

II. 材料と方法

1. 供試菌

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) のおが粉種菌を使用した。

2. 培地資材

雪ぼうしN-1を種菌とした栽培試験 (以下、栽培試験1) における培地基材には、2022年12月22日に購入後、19か月散水や攪拌などをせずに野積みしたスギおが粉を使用した。スギおが粉の粒度ごとの質量割合は、2.8 mm以上が3.4%、2.0 mm以上2.8 mm未満が40.8%、1.4 mm以上2.0 mm未満が48.5%、1.4 mm未満が7.3%だった。

チクマッシュ T-011を種菌とした二つの栽培試験について、一つ目の栽培試験 (以下、栽培試験2) における培地基材には、栽培試験1と同様の2022年12月22日に購入後、21か月野積みしたスギおが粉を使用した。二つ目の栽培試験 (以下、栽培試験3) における培地基材には、2024年2月21日に購入後、13か月散水や攪拌などをせずに野積みしたスギおが粉を使用した。スギおが粉の粒度ごとの質量割合は、2.8 mm以上が1.0%、2.0 mm以上2.8 mm未満が4.6%、1.4 mm以上2.0 mm未満が39.6%、1.4 mm未満が54.9%だった。

すべての栽培試験の栄養材には、米ぬか (JA北新潟) を使用した。添加材には、炭酸カルシウム (有恒鉱業株式会社、飼料用30 kg入り、以下、炭カル) を使用した。

3. 培地調整と種菌の接種

栽培試験1は2024年7月30日に培地調整、その翌日の31日に接種した。乾燥質量100 gのスギおが粉と乾燥質量90 gの米ぬかで構成した培地を対照群とした。対照群に対して、炭カルを乾燥質量1.90 g (培地資材の乾燥質量の1.0%)、3.80 g (培地資材の乾燥質量の2.0%)、および5.70 g (培地資材の乾燥質量の3.0%) 添加した培地の計三つの試験培地を実験群として設定し、計四つの試験培地を設定した (表-1)。試験培地の含水率 (湿量基準) は水道水を加えて、計算上の値が64.15%となるように水分量を調整した。

表-1. 栽培試験の培地条件

栽培試験 の番号	試験培地	培地基材	栄養材	添加材	水 (g)	充填量 (g)	含水率 (%, 湿量基準)	殺菌後 培地pH	n
		(g, 乾燥質量) スギおが粉	(g, 乾燥質量) 米ぬか	(g, 乾燥質量) 炭酸カルシウム					
1	対照群	100.00	90.00	0.00	340.00	530	64.15	6.225	32
	炭カル1.0%添加	100.00	90.00	1.90	343.40	535	64.15	6.598	32
	炭カル2.0%添加	100.00	90.00	3.80	346.80	541	64.15	6.716	32
	炭カル3.0%添加	100.00	90.00	5.70	350.20	546	64.15	6.844	32
2	対照群	100.00	110.00	0.00	373.33	583	64.00	6.052	32
	炭カル0.1%添加	100.00	110.00	0.21	373.71	584	64.00	6.084	32
	炭カル0.3%添加	100.00	110.00	0.63	374.45	585	64.00	6.115	32
	炭カル0.5%添加	100.00	110.00	1.05	375.20	586	64.00	6.159	32
	炭カル0.8%添加	100.00	110.00	1.68	376.32	588	64.00	6.290	32
	炭カル1.0%添加	100.00	110.00	2.10	377.07	589	64.00	6.350	32
	炭カル2.0%添加	100.00	110.00	4.20	380.80	595	64.00	6.650	32
	炭カル3.0%添加	100.00	110.00	6.30	384.53	601	64.00	6.806	32
3	対照群	100.00	90.00	0.00	337.78	528	64.00	6.256	32
	炭カル0.3%添加	100.00	90.00	0.57	338.79	529	64.00	6.250	32
	炭カル0.4%添加	100.00	90.00	0.76	339.13	530	64.00	6.296	32
	炭カル0.5%添加	100.00	90.00	0.95	339.47	530	64.00	6.334	32
	米ぬか110 g培地	100.00	110.00	0.00	373.33	583	64.00	6.173	32
	米ぬか110 g培地&炭カル0.3%添加	100.00	110.00	0.63	374.45	585	64.00	6.281	32
	米ぬか110 g培地&炭カル0.4%添加	100.00	110.00	0.84	374.83	586	64.00	6.328	32
	米ぬか110 g培地&炭カル0.5%添加	100.00	110.00	1.05	375.20	586	64.00	6.350	32

栽培試験2は2024年10月10日に培地調整、その翌日の11日に接種した。乾燥質量100 gのスギおが粉と乾燥質量110 gの米ぬかで構成した培地を対照群とした。対照群に対して、炭カルを乾燥質量0.21 g (培地資材の乾燥質量の0.1%), 0.63 g (培地資材の乾燥質量の0.3%), 1.05 g (培地資材の乾燥質量の0.5%), 1.68 g (培地資材の乾燥質量の0.8%), 2.10 g (培地資材の乾燥質量の1.0%), 4.20 g (培地資材の乾燥質量の2.0%), および6.30 g (培地資材の乾燥質量の3.0%) 添加した培地の計七つの試験培地を実験群として設定し、計八つの試験培地を設定した(表-1)。試験培地の含水率は水道水を加えて、計算上の値が64.0%となるように水分量を調整した。

栽培試験3は2025年2月19日に培地調整、その翌日の20日に接種した。乾燥質量100 gのスギおが粉と乾燥質量90 gの米ぬかで構成した培地を対照群とした。対照群に対して、炭カルを乾燥質量0.57 g (培地資材の乾燥質量の0.3%), 0.76 g (培地資材の乾燥質量の0.4%), および0.95 g (培地資材の乾燥質量の0.5%) 添加した培地、そして乾燥質量100 gのスギおが粉と乾燥質量110 gの米ぬかで構成した培地 (以下、米ぬか110 g培地)、さらに、米ぬか110 g培地に対して、炭カルを乾燥質量0.63 g (培地資材の乾燥質量の0.3%), 0.84 g (培地資材の乾燥質量の0.4%), および1.05 g (培地資材の乾燥質量の0.5%) 添加した培地の計七つの試験培地を実験群として設定し、合計八つの試験培地を設定した(表-1)。試験培地の含水率は水道水を加えて、計算上の値が64.0%となるように水分量を調整した。

なお、栽培試験2, 3において、米ぬかの混合量を90 gから110 gに変更したのは、予備試験において増収効果が確認されたためである(清水 私信)。

培地調整については、各試験培地をミキサー(協全商事株式会社)で攪拌後、850 mLのPPビン(ホクト産業株式会社)に手詰めした。供試ビンは各試験培地あたり32本作製し、16本ずつコンテナに格納後(4行×4列)、瓶詰め機(田中技研工業株式会社)で接種孔を培地上面中央に1か所成形した。培地調整と瓶詰め作業は約3時間で完了し、その後、高圧殺菌釜(株式会社千代田製作所, TFK-T06 W-C)で高圧殺菌(119°C, 60分)した。高圧殺菌後、半日程度室温17.0°Cに設定されたクリーンルーム内で放熱し、手作業でおが粉種菌を約10 g接種した。

4. 栽培条件と子実体の収穫

接種後、試験培地ごとに供試ビンの管理位置が偏ら

ないように、栽培試験1は、一つのコンテナ内に各試験培地4本ずつ、栽培試験2, 3は、一つのコンテナ内に各試験培地2本ずつ格納した。

接種後の培養は、室温16.0°C、湿度70%、二酸化炭素濃度2,000 ppm以下になるように設定した暗黒条件下の培養室内で行った。培養日数は、栽培試験1が29日間、栽培試験2が28日間、栽培試験3が27日間だった。培養は台車に乗せたまま行った。

培養完了後、菌掻機を使用して発生処理を行った。発生処理は接種した種菌と培地表面を削り取る「ぶっ掻き」で行った。

芽出し工程は、室温13.5°C、湿度97%以上、二酸化炭素濃度2,000 ppm以下に設定した暗黒条件下の部屋で管理した。子実体の傘径が約1 mm、子実体が約3 mmに伸長し、接種孔が子実体で概ね塞がった時点で芽出し完了とみなし、生育工程に移した。この際、子実体の成長に差がみられたことから、以降は収穫に至るまで成長の程度が類似する供試ビンごとにコンテナで管理した。

生育工程の前期は、室温6.0°C、二酸化炭素濃度2,000 ppm以下に設定した暗黒条件下の部屋で管理した。生育工程の後期は、子実体が約1.5 cmに伸長した時点で、室温5.0°C、二酸化炭素濃度2,000 ppm以下に設定した暗黒条件下の部屋に移すとともに、光抑制(15分/日×2日、自走式光源:長野産業NS-0900, 白色蛍光灯, 最大照度:1,200 lx)を行った。

光抑制後、子実体が約6.0 cmに伸長した時点で、プラスチック製青色有孔巻紙(ホクト産業株式会社, 高さ12.5 cm)で紙巻きした。なお、生育工程は湿度調整を行っていないが、湿度は約80~90%で推移した。

子実体の収穫は、株のほぼすべての菌傘が巻紙の高さを越えた時点でを行い、ビン口から石づき方向に3.0 cmの位置で子実体を切り取った。収穫直後に子実体の湿潤質量を0.1 g単位で測定し、これを1供試ビンあたりの収量とした。併せて、発生処理から収穫までの日数(以下、生育日数)を記録し、試験培地ごとに平均生育日数を求めた。

5. 培地のpH測定

各試験培地の殺菌後の培地pHを測定した。培地のpHの測定は、高圧殺菌から半日程度室温17.0°Cに設定されたクリーンルーム内で放熱した後に行った。培地を100 mLコニカルピーカーに10 g秤量し、そこに蒸留水を50 mL加え、5分間ホットプレートスターラー(HOT PLATE PC-351 (AGCテクノグラス株式会社))とC-MAG

HS 7 (IKA) を併用) で攪拌し、室温で60分間静置した後、上澄み液のpHをpHメーター (株式会社堀場製作所, LAQUA F-72) で測定した (表-1)。

6. 統計解析

栽培試験の各試験培地の違いがエノキタケの1供試ビンあたりの収量に与える効果を評価するため、一般化線形モデル (以下, GLM) で解析した。GLMのパラメータはベイズ推定した。解析は栽培試験ごとに行った。応答変数には、1供試ビンあたりの収量を使用した。説明変数は栽培試験で異なり、栽培試験1, 2は試験培地の違い、つまり炭カル添加量の違い (栽培試験1は4区分, 栽培試験2は8区分の質的データ) を使用した。栽培試験3は米ぬか混合量の違い (90 gおよび110 gの2区分の質的データ)、炭カル添加割合の違い (0, 0.3, 0.4, および0.5%の4区分の質的データ)、および米ぬか混合量の違いと炭カル添加割合の違いの交互作用を使用した。ベイズ推定におけるMCMCのサンプリング設定は、バーンイン回数を1,000回, 乱数生成の繰り返し数を2,000回, チェーン数を4本, 事前分布には無情報分布を適用した。また、応答変数の誤差構造は正規分布, リンク関数はidentityとした。モデルの収束判断は収束指標であるRhatが1.1未満であることにより行った (松浦 2016)。なお, 説明変数の効果は, 95%信用区間にゼロを含まない場合に統計学的に有意であると判断した。GLM解析はR version 4.4.2 (R Core Team 2024) のbrmsパッケージのbrm関数 (Bürkner 2017) で行い, Stan version 2.23 (Stan Development Team 2020) を使用してベイズ推定した。

Ⅲ. 結 果

1. 栽培試験

栽培試験1における収穫時の子実体を写真-1に示す。1供試ビンあたりの収量は、炭カル1.0%添加で最も多く、次いで炭カル3.0%添加, 炭カル2.0%添加, 対照群の順に多かった (表-2)。また, 生育日数は, 対照群で最も短く, 次いで炭カル1.0%添加, 炭カル3.0%添加, 炭カル2.0%添加の順に短かった (表-2)。

表-2. 栽培試験1における各試験培地のエノキタケ子実体の収量および生育日数

試験培地	収量 (g/ビン)		生育日数 (日)		n
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
対照群	196.61	7.88	25.09	0.39	32
炭カル1.0%添加	215.64	6.09	25.47	0.62	32
炭カル2.0%添加	214.05	7.40	25.63	0.71	32
炭カル3.0%添加	215.29	8.53	25.53	0.76	32

供試菌は雪ぼうしN-1。

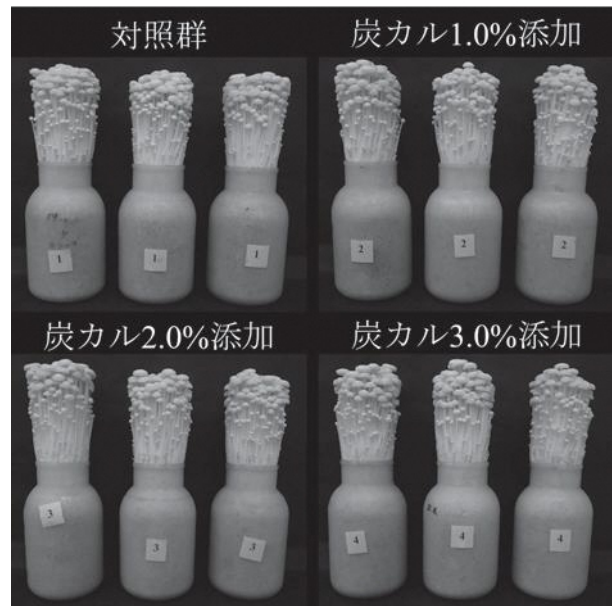


写真-1. 栽培試験1で収穫された各試験培地のエノキタケ子実体供試菌は雪ぼうしN-1。

栽培試験2における収穫時の子実体を写真-2に示す。1供試ビンあたりの収量は、炭カル0.5%添加で最も多く、次いで炭カル0.8%添加, 炭カル3.0%添加, 炭カル1.0%添加, 炭カル2.0%添加, 炭カル0.3%添加, 対照群, 炭カル0.1%添加の順に多かった (表-3)。また, 生育日数は, 炭カル2.0%添加で最も短く, 次いで炭カル1.0%添加, 炭カル0.8%添加, 炭カル0.1%添加, 炭カル0.5%添加, 炭カル3.0%添加, 対照群, 炭カル0.3%添加の順に短かった (表-3)。

表-3. 栽培試験2における各試験培地のエノキタケ子実体の収量および生育日数

試験培地	収量 (g/ビン)		生育日数 (日)		n
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
対照群	233.83	9.81	28.53	0.80	32
炭カル0.1%添加	230.08	13.76	28.41	0.67	32
炭カル0.3%添加	249.86	8.66	29.00	0.88	32
炭カル0.5%添加	253.47	10.23	28.44	0.72	32
炭カル0.8%添加	253.38	7.25	28.28	0.89	32
炭カル1.0%添加	251.80	8.72	28.25	0.57	32
炭カル2.0%添加	251.12	10.71	28.16	0.77	32
炭カル3.0%添加	252.62	12.49	28.50	0.84	32

供試菌はチクマッシュT-011。

栽培試験3における収穫時の子実体を写真-3に示す。1供試ビンあたりの収量は、米ぬか110 g培地&炭カル0.3%添加で最も多く, 次いで米ぬか110 g培地, 米ぬか110 g培地&炭カル0.4%添加, 米ぬか110 g培地&炭カル0.5%添加, 炭カル0.5%添加, 炭カル0.4%添加, 炭カル0.3%添加, 対照群の順に多かった (表-4)。また, 生育日数は,

炭カル0.3%添加で最も短く、次いで米ぬか110 g培地&炭カル0.4%添加、炭カル0.4%添加、米ぬか110 g培地&炭カル0.3%添加、米ぬか110 g培地&炭カル0.5%添加、炭カル0.5%添加、対照群、米ぬか110 g培地の順に短かった(表4)。

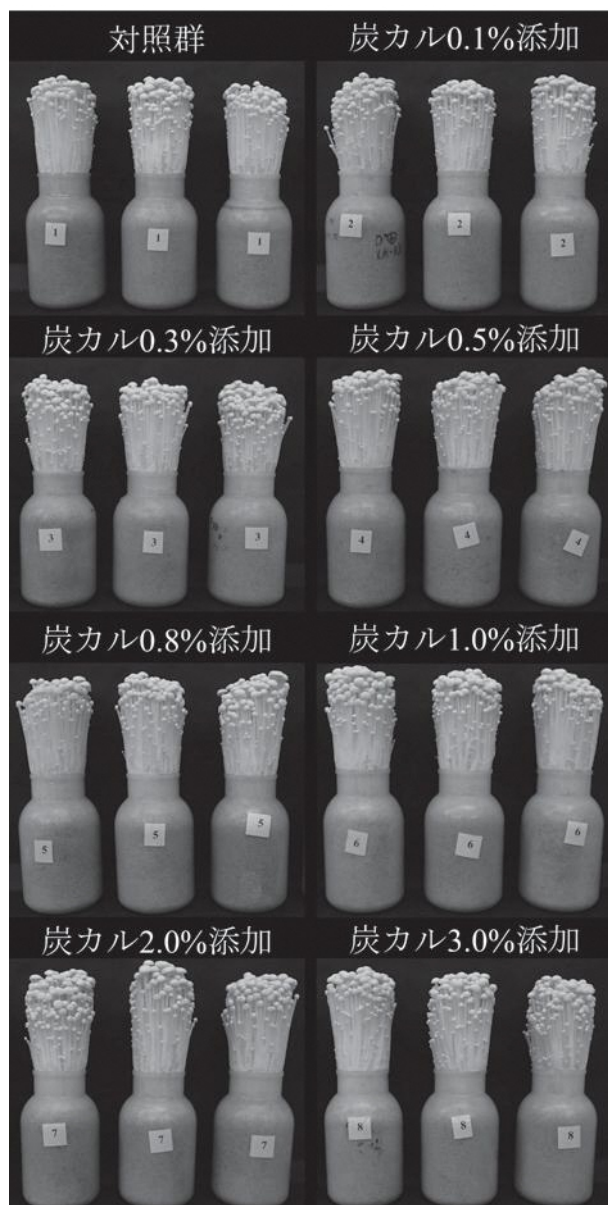


写真-2. 栽培試験2で収穫された各試験培地のエノキタケ子実体供試菌はチクマッシュT-011。

2. GLM解析

GLM解析のRhatはすべてのモデルで1.1未満であり、MCMCは収束したと判断した。

栽培試験1における1供試ビンあたりの収量を応答変数としたGLM解析の結果(表-5)、炭カル1.0、2.0、および3.0%は対照群に対して収量に有意な正の効果があった。

栽培試験2における1供試ビンあたりの収量を応答変数

としたGLM解析の結果(表-6)、炭カル0.3、0.5、0.8、1.0、2.0、および3.0%は対照群に対して収量に有意な正の効果

表-4. 栽培試験3における各試験培地のエノキタケ子実体の収量および生育日数

試験培地	収量(g/ビン)		生育日数(日)		n
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
対照群	206.34	11.20	29.75	0.98	32
炭カル0.3%添加	212.25	8.57	28.56	0.67	32
炭カル0.4%添加	212.39	8.55	28.78	0.79	32
炭カル0.5%添加	217.23	9.03	29.22	0.75	32
米ぬか110 g培地	240.39	9.24	29.97	1.12	32
米ぬか110 g培地&炭カル0.3%添加	245.55	8.57	29.09	1.28	32
米ぬか110 g培地&炭カル0.4%添加	240.10	10.77	28.72	1.02	32
米ぬか110 g培地&炭カル0.5%添加	239.29	10.69	29.16	1.44	32

供試菌はチクマッシュT-011。

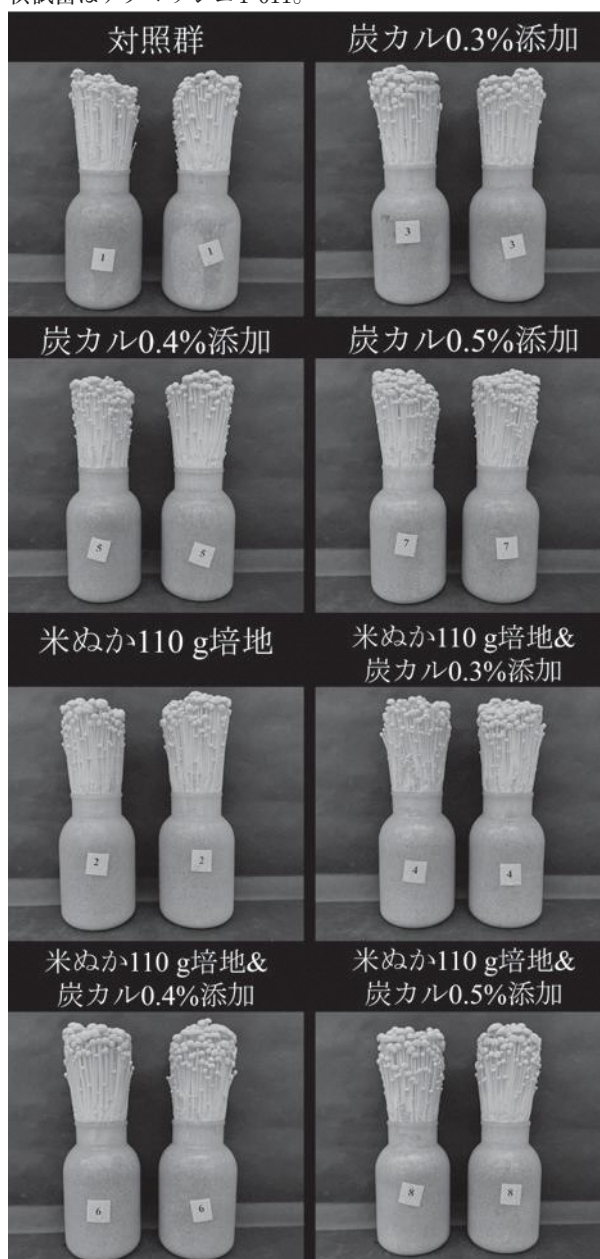


写真-3. 栽培試験3で収穫された各試験培地のエノキタケ子実体供試菌はチクマッシュT-011。

果があった。炭カル0.1%は対照群に対して収量に有意な効果が認められなかった。

栽培試験3における1供試ビンあたりの収量を応答変数としたGLM解析の結果(表-7), 米ぬか110 gの効果, 炭カル0.3, 0.4, および0.5%は対照群に対して収量に有意な正の効果があった。米ぬか110 gと炭カル0.3%添加の交互作用, 米ぬか110 gと炭カル0.4%添加の交互作用は対照群に対して収量に有意な効果が認められなかった。

表-5. 栽培試験1におけるエノキタケ子実体の収量を応答変数としたGLM解析の結果

項目	事後期待値	事後標準偏差	95%信用区間	
			下限	上限
Intercept (対照群)*	196.67	1.33	194.09	199.29
炭カル1.0%添加の効果*	18.99	1.92	15.29	22.76
炭カル2.0%添加の効果*	17.40	1.89	13.93	21.23
炭カル3.0%添加の効果*	18.62	1.87	14.87	22.19

単位はg。

*が付いた説明変数は, 95%信用区間にゼロを含まないことを示す。

供試菌は雪ぼうしN-1。

表-6. 栽培試験2におけるエノキタケ子実体の収量を応答変数としたGLM解析の結果

項目	事後期待値	事後標準偏差	95%信用区間	
			下限	上限
Intercept (対照群)*	233.84	1.83	230.16	237.35
炭カル0.1%添加の効果	-3.74	2.59	-8.80	1.38
炭カル0.3%添加の効果*	16.09	2.61	10.90	21.19
炭カル0.5%添加の効果*	19.64	2.58	14.70	24.63
炭カル0.8%添加の効果*	19.56	2.59	14.45	24.77
炭カル1.0%添加の効果*	17.97	2.60	12.97	23.28
炭カル2.0%添加の効果*	17.29	2.59	12.28	22.49
炭カル3.0%添加の効果*	18.79	2.61	13.63	23.88

単位はg。

*が付いた説明変数は, 95%信用区間にゼロを含まないことを示す。

供試菌はチクマッシュT-011。

表-7. 栽培試験3におけるエノキタケ子実体の収量を応答変数としたGLM解析の結果

項目	事後期待値	事後標準偏差	95%信用区間	
			下限	上限
Intercept (対照群)*	206.27	1.65	202.88	209.41
米ぬか110 gの効果*	34.16	2.38	29.42	38.72
炭カル0.3%添加の効果*	6.00	2.38	1.37	10.83
炭カル0.4%添加の効果*	6.06	2.38	1.61	10.91
炭カル0.5%添加の効果*	10.94	2.40	6.45	15.62
米ぬか110 gと炭カル0.3%添加の交互作用	-0.93	3.37	-7.60	5.54
米ぬか110 gと炭カル0.4%添加の交互作用	-6.41	3.40	-13.26	0.35
米ぬか110 gと炭カル0.5%添加の交互作用*	-12.08	3.40	-18.85	-5.42

単位はg。

*が付いた説明変数は, 95%信用区間にゼロを含まないことを示す。

供試菌はチクマッシュT-011。

一方で, 米ぬか110 gと炭カル0.5%添加の交互作用は対照群に対して収量に有意な負の効果があった。

IV. 考 察

本研究において, 雪ぼうしN-1, およびチクマッシュT-011ともに, 炭カル添加は子実体収量の増加効果があることが示唆された(表-2~7)。ただし, 培地資材の乾燥質量あたり0.5%を超えると炭カル添加効果は頭打ちになることが示唆された(表-3, 6)。また, 炭カル添加による増収効果は, 雪ぼうしN-1を使用した栽培試験1, およびチクマッシュT-011を使用した栽培試験2ともに最大約19 gであった(表-5, 6)。エノキタケの菌糸体はpH 4~8で生長し, pH 6付近に最適域がある(中村 2000)とされている。各試験培地の殺菌後の培地pH(表-1)は, 対照群が6.225(栽培試験1), 6.052(栽培試験2), 6.256(栽培試験3)で6に値が近く, 炭カルを添加した試験培地は添加量が増えるにつれ6から値が離れた。しかしながら, エノキタケの最適pHから離れたにもかかわらず炭カル添加により増収した。このことから, 培地pHがやや最適域から中性方向に離れても炭カル添加による効果が大きいことが示唆された。また, 栽培試験2では炭カルの添加量を8段階に変化させた結果, 殺菌後の培地pHは6.052~6.806と中性に近い値になった(表-1)。しかしながら, 子実体収量の増収は頭打ちになったが, 中性に近い値になっても減収はしなかった(表-3)。このことから, 炭カル添加の増収効果に閾値はあるが, 培地pHが最適域から離れることによるマイナスの効果はないと示唆された。一方で, 栽培試験3においては, 炭カル添加による増収効果は約6~10 g(表-7)であり, さらに, 栽培試験2ではみられなかったが, 米ぬか90 gに対し110 g混合した場合に増収効果が減少した(表-7)。これは, 使用したチクマッシュT-011の種菌の違いが影響した可能性がある。栽培試験3における対照群の平均収量は約206 gであった(表-4)。一方で, 本研究所で同様の培地資材を使用して栽培した際のエノキタケの平均収量は約210~220 gであり(清水 2025a, 2025b), 栽培試験3は減収したことがわかる。また, 栽培試験3では先行研究(清水 2025a, 2025b)と同様の栽培条件にもかかわらず, 芽出し工程に通常よりも1日多く要した(清水 私信)。これらのことから, 栽培試験3で使用した種菌は, 栽培試験2, および先行研究(清水 2025a, 2025b)で使用した種菌より性能が劣っていた可能性があり, 炭酸カルシウ

ムの添加による増収効果が弱まった可能性がある。エノキタケ菌床栽培において、培地へのカルシウムを主成分とした貝化石の添加により、添加しなかった培地で栽培したエノキタケよりも、カルシウム含有量は11.5倍に増加した(高島 1998)との報告があることから、炭カル添加により増収だけでなく、子実体のカルシウム増加による健康へのプラス効果も期待できるのではないだろうか。

チクマッシュ T-011の菌床栽培に使用する米ぬかの混合量は、850 mLの栽培ビンの場合、スギおが粉100 gに対して、90 g混合するよりも110 g混合することにより増収効果があることが示唆された(表4, 7)。米ぬかの使用量と収量、品質、および生育日数とは関係が深く(柿本 1995)、一般的には米ぬかの使用量が多いほど増収すると考えがちだが、ビン容量100 ccあたり11.3 ~ 12.5 gが適正量とされる(柿本 1995)。これを850 mLあたりに換算すると、約96 ~ 106 gであり、本研究の栽培試験ではそれを上回った。一方で、栽培試験2と栽培試験3の結果を比較すると、栽培試験2では、米ぬかを110 g混合した培地に炭カルを添加しなかった場合(栽培試験2の対照群)、炭カルを添加した他の実験群と比較して収量が少なかった(表-3)。一方で、栽培試験3では、米ぬかを110 g混合した培地に炭カルを添加しなくても、炭カルを添加した他の実験群と同等の収量であった(表4)。この違いは、米ぬかの混合量を増加したうえでの培地pHが影響した可能性がある。栽培試験2の米ぬかを110 g混合した培地に炭カルを添加しなかった培地の殺菌後pHは6.052、また、この培地に培地資材の乾燥質量あたり0.1%の炭カルを添加した培地の殺菌後pHは6.084であり(表-1)、どちらも殺菌後pHが6.115以上であった培地資材の乾燥質量あたり0.3%以上の炭カルを添加した培地より子実体収量は少なかった(表-3)。一方で、栽培試験3の米ぬかを110 g混合した培地に炭カルを添加しなかった培地の殺菌後pHは6.173であり(表-1)、栽培試験2の培地資材の乾燥質量あたり0.3%以上の炭カルを添加した培地には及ばなかったが収量が多かった(表-3, 4)。これらのことから、850 mLの栽培ビンの場合、スギおが粉100 gに対して米ぬかを110 g混合することによる増収効果を期待するには、殺菌後の培地pHを約6.1に調整する必要があるかもしれない。ただし、この結果は二つの栽培試験結果によるものであり、より確度の高い知見を得るには、さらに繰り返しの栽培試験を行う必要がある。また、実際に栽培現場で培地調整する場合においては、使用する培地のpHを確認しながら培地資材を混合する

ことが望ましいだろう。

筆者の主観だが、米ぬかを110 g混合した培地は、わずかに株内部の子実体の水きり(子実体の水分が多すぎる状態)が多いように思われた。これは、子実体の茎数が増え、巻紙内部の子実体密度が高まったことにより、株内部の子実体の蒸散量が低下したためだと思われる。このため、実際に生産現場で本研究の培地を使用するにあたっては、紙巻の時期を遅らせたり、生育施設内の換気を増やすことなどで生育室の湿度をやや下げたりするなどの工夫が必要になる可能性がある。

以上のことから、エノキタケ菌床栽培において、炭カル添加は増収効果があり、特にチクマッシュ T-011の菌床栽培において、培地資材の乾燥質量あたり0.3 ~ 0.5%添加するとその効果を最大化できる可能性があること、また、チクマッシュ T-011の菌床栽培において、850 mLの栽培ビンを使用する場合、米ぬかの混合量はスギおが粉100 gに対して90 g混合するよりも110 g混合することにより増収効果があることが示唆され、これらはエノキタケ菌床有機栽培において有効であると考えられた。スギおが粉ではなく、コーンコブミールを培地基材とした場合のエノキタケの経営指標によれば、1,100 ccの栽培ビン1万本あたりの培地材料費は106,000円で、これは、経営費全体(742,914円)の約14%(風間 2022)に過ぎない。また、本研究において効果検証した炭カル、および米ぬかの資材費は比較的安価であることから、導入コストは大きくはないだろう。新潟市中央卸売市場の市場統計年報(新潟市 2025)をもとに、2024年のエノキタケ販売金額(円/kg)を算出すると約310円/kgである。スギおが粉100 gに対して米ぬかを90 g混合した培地の収量を220 g(清水 2025a, 2025b)、スギおが粉100 gに対して米ぬかを110 g、炭カルを1.05 g混合した培地(栽培試験2の炭カル0.5%添加)の収量を253 g(表-3)としたとき、約10円(0.033 kg×310円/kg)増加すると試算できる。購入先などの違いにより資材費は大きく変動するため、本稿では試算しないが、増加する販売金額内に増加する資材費が収まれば、生産者の収益を増加させることができる。さらに、炭カル、および米ぬかはきのこ栽培の培地資材として一般的であり、生産者にとっては使用しやすい資材と思われる。本研究の栽培試験結果がエノキタケ菌床有機栽培の導入の一助となれば幸いである。

開示すべき利益相反はない。

引用文献

- Bürkner PC. 2017. brms: An R package for Bayesian multilevel models using Stan. *J Stat Softw.* 80: 1-28.
- 柿本陽一. 1995. エノキタケ. きのこ年鑑編集部編, きのこ年鑑'96年版. 東京: 農村文化社. p. 129-134.
- 風間宏, 小山智行. 2020. きのこ栽培における新規培地資材'バガスパウダー'の利用技術. 長野県野菜花き試験場報告. 17: 51-55.
- 風間宏. 2022. エノキタケの経営指標. 特産情報きのこ年鑑編集部編, 2022年度版きのこ年鑑. 東京: 株式会社プランツワールド. p. 240-243.
- 木村栄一. 2014. ナメコ栽培のQ&A. 大橋等編, 改訂版最新きのこ栽培技術. 東京: 株式会社プランツワールド. p. 310-315.
- 小山智行. 2014. 施設空調型エノキタケ栽培の最新技術. 大橋等編, 改訂版最新きのこ栽培技術. 東京: 株式会社プランツワールド. p. 165-172.
- 松浦健太郎. 2016. StanとRでベイズ統計モデリング. 東京: 共立出版.
- 中村公義. 1997. エノキタケ. きのこ年鑑編集部編, きのこ年鑑'98年版. 東京: 農村文化社. p. 166-171.
- 中村公義. 2000. エノキタケ. 衣川堅二郎, 小川眞編, きのこハンドブック. 東京: 朝倉書店. p. 68-76.
- 新潟市. 2025. 市場統計年報青果部編. [2025.12.5参照]. <https://www.city.niigata.lg.jp/business/ichiba/tokui/nenpou2024.files/2024-2seika.pdf>.
- 農林水産省. 2025. 日本農林規格有機農産物JAS1605. [2025.12.5参照]. https://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/attach/pdf/yuuki-437.pdf.
- 小越智博, 武田綾子. 2008. エノキタケ「雪ぼうし2号」の特性について (IV) - カキ殻粉末を用いた培地試験 -. 新潟森林研報. 49: 29-32.
- R Core Team. 2024. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- 林野庁. 2024. 令和6年版森林・林業白書. 東京: 全国林業改良普及協会.
- 清水達哉. 2025a. スギおが粉エノキタケ菌床栽培におけるコーンコブミール培地のエノキタケ廃菌床による培地基材置換率の検証. 新潟森林研報. 65: 20-26.
- 清水達哉. 2025b. スギおが粉エノキタケ菌床栽培におけるナメコ廃菌床の利用. 日林誌. 107: 123-127.
- 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. *J. Appl. Glycosci.* 52: 133-136.
- Stan Development Team. 2020. Stan: A C++ Library for Probability and Sampling, Version 2.23.
- 高島幸司. 1998. 食用きのこ栽培に及ぼす貝化石添加の効果 (I) エノキタケについて. 第48回日本木材学会大会研究発表要旨集. p. 469.

施設空調型ナメコ高速栽培におけるスギおが粉の利用

清水達哉¹

要旨：施設空調型ナメコ高速栽培における培地基材としてのスギおが粉の利用可能性を検証するため、コナラおが粉に対するスギおが粉の置換率（乾燥、容積率）、添加材の炭酸カルシウムの添加、および栄養材の特ふすま混合割合増加の効果検証を五つの栽培試験により行った。その結果、コナラおが粉にスギおが粉を混合した培地において、生産現場において標準的と考えられる培地より明確に増収した培地はなかった。しかし、コナラおが粉に対する置換率25%までであれば、炭酸カルシウムを添加した培地では、その収量差はほとんどゼロあるいは約5～10 gに過ぎなかったことから、スギおが粉が利用できると考えられた。炭酸カルシウム無添加の場合、スギおが粉の置換率65%までは、炭酸カルシウム無添加のコナラおが粉単用培地の収量をわずかに上回り、子実体個数は同程度だった。培地への炭酸カルシウム添加により、コナラおが粉にスギおが粉を混合した培地およびコナラおが粉単用培地において増収した。一方で、スギおが粉の置換率が増加するにつれ、炭酸カルシウム添加の効果は減少した。特ふすまの混合割合増加による増収効果は認められなかった。

キーワード：KX-N008号、代替資材、コナラおが粉、スギおが粉、炭酸カルシウム

I. はじめに

ナメコ (*Pholiota microspora*) は日本で広く栽培されている主要なきのこの一つであり、新潟県、長野県、山形県を中心に年間約2万4千tが生産されている（農林水産省 2025）。ナメコの栽培方法には菌床栽培と原木栽培がある（熊田 2001）が、現在ではほとんどが菌床栽培による（農林水産省 2025）。ナメコ菌床栽培において、大部分の広葉樹はおが粉原料として使用でき（庄司 2022）、ブナ、コナラ、シデ類、ホオノキ、クヌギ、ヤマザクラなどが好適とされている（小出 1992）。一方で、針葉樹のほか、ケヤキ、クリ、ネムノキ、ミズキ、ソヨゴは使用に適さないとされている（小出 1992；庄司 2022）。

ナメコ菌床栽培は、ポリプロピレンなどを材料とした栽培ビンを用いた栽培方法が一般的であり、広葉樹おが粉などの培地基材、ふすまなどの栄養材およびpH調整剤などの添加材を混合した培地を栽培ビンに充填したものに種菌を接種して栽培する。しかし、1980年代頃にはすでに、菌床栽培に使用する広葉樹おが粉の安定確保が困難になりつつあった（例えば、本間・篠田 1984；渡部ら 1984）。このため、広葉樹おが粉の代替資材として、一般的にきのこ栽培に不適とされる針葉樹おが粉の利用可能性について検討されてきた（例えば、本間・篠田 1984；渡部ら 1984）。

ナメコなどの栽培きのこの菌床栽培において針葉樹おが粉が不適とされる理由として、針葉樹には菌糸の発育を阻害する樹脂成分が多く含まれていること（庄司 1982）、針葉樹と広葉樹ではリグニンの化学構造に相違があり、針葉樹リグニン（グアイアシルリグニン）は広葉樹に多いシリングルリグニンより微生物分解を受けにくいこと（例えば、高橋 1989）などが挙げられる。

ナメコ菌床栽培において、スギやカラマツなどの針葉樹おが粉の利用可能性に関する研究は、1970年代から1980年代にかけて林野庁の総合助成試験大型プロジェクト研究で行われた（例えば、本間・篠田 1984；斎藤・篠原 1984；渡部ら 1984）。本間・篠田（1984）および渡部ら（1984）は、ナメコ菌床栽培におけるスギ等の針葉樹おが粉の利用を検討し、ブナおが粉を培地基材とした対照培地と比較して、培地基材の全量をスギおが粉で構成した培地（本間・篠田 1984）およびスギおが粉をブナおが粉に混合した培地（本間・篠田 1984；渡部ら 1984）のいずれにおいても収量が低下したことを報告している。また、新潟県と同様にナメコの主要産地である長野県においては、広葉樹おが粉の代替としてカラマツ、ヒノキの利用が検討され、針葉樹おが粉にふすま、コーンブラン、消石灰を組み合わせた培地で、広葉樹おが粉を用いた培地とほぼ同等の収量が得られることを確認した（斎藤・篠原 1984）。しかしその後、ナメコの空調施設栽培が全国的に普及するなかで産地間競争が激化し、

本内容の一部は、第137回日本森林学会大会でポスター発表した。

¹新潟県森林研究所（〒958-0264 新潟県村上市鵜渡路2249-5）

（2025年10月28日受付、2026年1月19日受理）

生産の効率化のために1ビンあたり収量の大幅な増加が求められるようになった。その結果、針葉樹おが粉の利用は生産現場には広がらなかった（増野 2012）とされている。

一般に、スギおが粉は入手が容易で広葉樹おが粉よりも安価であり、スギおが粉をナメコ菌床栽培に利用できれば、ナメコ生産コストの低減に資することが期待される。また、近年、日本における花粉症対策として、戦後造林されたスギなどの針葉樹林の伐採が加速する（林野庁 2024）ことが考えられ、それに伴いスギ材の供給量が増加すると考えられる。スギ人工林の伐採、植替を加速化するうえで、スギ材の需要拡大は不可欠である（林野庁 2024）。さらに、2023年5月に決定された「花粉症対策の全体像」（内閣官房 2023）では、住宅分野におけるスギ材製品への転換促進や木材活用大型建築の新築着工面積の倍増等の需要拡大対策を進め、スギ材製品の需要を現状の1,240万 m^3 から10年後までに1,710万 m^3 に拡大することを目指すとしている。スギ人工林の伐採量増加に伴い、住宅等の建築に使用される比較的通直なスギ材だけでなく、木質バイオマス発電等に使用される住宅等の建築に適さないスギ材の供給量が増加すると考えられる。これらのスギ材をナメコ等のきのこ菌床栽培に利用できれば、森林資源の有効活用に資する可能性がある。

ナメコ菌床栽培における針葉樹おが粉の利用可能性の検討は、前述の総合助成試験大型プロジェクト研究で行われた。しかし、それらの研究成果は、培養完了後に発生処理を行い、ナメコの発生がみられなくなるまで収穫を継続する栽培方法によるものである。近年普及している施設空調型ナメコ栽培における高速栽培では、培養日数が60日以内で発生操作の可能な専用品種を使用し、1回発生のみを収穫して、発生管理期間を20日間以内、合計栽培日数で80日間以内とする極めて短期間での栽培ローテーション方式（木村 2014）が採用されている。このような短期栽培方式における針葉樹おが粉の利用に関する知見はみられない。そこで本研究では、施設空調型ナメコ高速栽培における培地基材としてのスギおが粉の利用可能性を検証するため、コナラおが粉に対するスギおが粉の置換率（乾燥、容積率）、添加材の炭酸カルシウムの添加、および栄養材の特ふすま混合割合増加の効果検証を五つの栽培試験により行った。

II. 材料と方法

1. 供試菌

ナメコの種菌としてKX-N008号（株式会社キノックス）を供試した。

2. 培地資材

五つの栽培試験のうち、一つ目および二つ目の栽培試験（以下、試験1および試験2）における培地基材には、2023年11月26日に購入後、屋根付きの小屋で常温保管したコナラおが粉および2022年12月22日に購入後、試験1は11か月、試験2は14か月散水や攪拌などをせずに野積みしたスギおが粉を使用した。コナラおが粉の粒度ごとの質量割合は、2.8 mm以上が5.5%、2.0 mm以上2.8 mm未満が21.7%、1.4 mm以上2.0 mm未満が60.5%、1.4 mm未満が12.3%だった。スギおが粉の粒度ごとの質量割合は、2.8 mm以上が3.4%、2.0 mm以上2.8 mm未満が40.8%、1.4 mm以上2.0 mm未満が48.5%、1.4 mm未満が7.3%だった。三つ目の栽培試験（以下、試験3）における培地基材には、2024年5月24日に購入後、屋根付きの小屋で常温保管したコナラおが粉および2024年2月21日に購入後、11か月散水や攪拌などをせずに野積みしたスギおが粉を使用した。コナラおが粉の粒度は不明であるが、試験1、2、および後述する試験4、5で使用したコナラおが粉より粗かった。スギおが粉の粒度ごとの質量割合は、2.8 mm以上が1.0%、2.0 mm以上2.8 mm未満が4.6%、1.4 mm以上2.0 mm未満が39.6%、1.4 mm未満が54.9%だった。四つ目および五つ目の栽培試験（以下、試験4および5）における培地基材には、2025年3月18日に購入後、屋根付きの小屋で常温保管したコナラおが粉および試験3と同様の2024年2月21日に購入後、15か月散水や攪拌などをせずに野積みしたスギおが粉を使用した。コナラおが粉の粒度ごとの質量割合は、2.8 mm以上が5.9%、2.0 mm以上2.8 mm未満が21.5%、1.4 mm以上2.0 mm未満が34.1%、1.4 mm未満が38.5%だった。なお、スギおが粉はナメコ菌床栽培において、おが粉に加工した後、未処理のおが粉よりも野積みしたおが粉のほうが、また、野積みしたおが粉よりも散水堆積したおが粉のほうが適する（本間・篠田 1984）とされている。栄養材には特ふすま（かちどき製粉株式会社、20 kg袋入り）を、添加材には炭酸カルシウム（有恒鉱業株式会社、飼料用30 kg入り、以下、炭カル）をそれぞれ使用した。

3. 培地調整と種菌の接種

試験1は2023年12月4日に培地調整、翌日の5日に接種

した。培地基材のすべてをコナラおが粉で構成した培地（以下、0%置換）を対照群、培地基材のコナラおが粉（乾燥）の容積率10, 20, 30, 40, 50, 65, および80%をスギおが粉（乾燥）で置換した培地（以下、x%置換と表記：xはそれぞれの置換率）を実験群とした計八つの試験培地を設定した（表-1）。栄養材の特ふすまは、1供試ビンあたりの混合量を乾燥質量45.74 gとした。

試験2は2024年3月13日に培地調整、翌日の14日に接種した。0%置換を対照群、培地基材のコナラおが粉（乾燥）の容積率20, 40, および70%をスギおが粉（乾燥）で置換した培地（以下、栽培試験1と同様にx%置換と表記：xはそれぞれの置換率）、そして、0, 20, 40, および70%置換に炭カルを1供試ビンあたり乾燥質量2.03 g添加した培地（以下、x%置換&炭カルと表記：xはそれぞれの置換率）を実験群とした計八つの試験培地を設定した（表-1）。栄養材の特ふすまの混合量は試験1と同様とした。

試験3は2025年1月27日に培地調整、翌日の28日に接種した。0%置換&炭カルを対照群、培地基材のコナラおが粉（乾燥）の容積率25および50%をスギおが粉（乾燥）で置換し、炭カルを1供試ビンあたり乾燥質量2.08 g添加した培地（以下、試験2と同様にx%置換&炭カルと表記：xはそれぞれの置換率）、そして、0, 25, および50%置換&炭カルのおが粉と特ふすまの混合比（質量比）を77.5 : 22.5から72.0 : 28.0に変更し、1供試ビンあたりの特ふすま混合量を増加させた培地（以下、x%置換&炭カル・特ふすま割合増と表記：xはそれぞれの置換率）、さらに、25および50%置換・特ふすま割合増の炭カル添加量を2倍に増加させた培地（以下、x%置換&炭カル増・特ふすま割合増と表記：xはそれぞれの置換率）を実験群とした計八つの試験培地を設定した（表-1）。

試験4は2025年5月12日に培地調整、翌日の13日に接種した。0%置換&炭カルを対照群、培地基材のコナラおが粉（乾燥）の25%をスギおが粉（乾燥）で置換した培地に、炭カルを1供試ビンあたり乾燥質量0.61 g（対照群の培地資材における乾燥質量の0.3%）、1.01 g（対照群の培地資材における乾燥質量の0.5%）、1.42 g（対照群の培地資材における乾燥質量の0.7%）、および2.03 g（対照群の培地資材における乾燥質量の1.0%）添加した培地、そして、培地基材のコナラおが粉（乾燥）の70%をスギおが粉（乾燥）で置換した培地に、炭カルを1供試ビンあたり乾燥質量0.61 g（対照群の培地資材における乾燥質量の0.3%）、1.01 g（対照群の培地資材における乾燥質量の0.5%）、および2.03 g（対照群の培地資材に

おける乾燥質量の1.0%）添加した培地（以下、x%置換&炭カルy%添加と表記：xはそれぞれのスギおが粉の置換率、yは培地資材の乾燥質量に対する炭カル添加量の割合）を実験群とした計八つの試験培地を設定した（表-1）。栄養材の特ふすまは、1供試ビンあたりの混合量を乾燥質量45.63 gとした。

試験5は2025年5月19日に培地調整、翌日の20日に接種した。試験培地の設定は試験4と同様とした（表-1）。

すべての試験における培地の含水率（湿量基準）は、計算上の値が62%に揃うように水分量を調整した。

培地調整については、各試験培地をミキサー（協全商事株式会社）で攪拌後、800 mLのポリプロピレンビン（ホクト産業株式会社、P.Pビン）に手詰めした。供試ビンは各試験培地あたり32本作製し、16本ずつコンテナに格納後（4行×4列）、瓶詰め機（田中技研工業株式会社）で接種孔を培地上面中央に1か所成形した。培地調整と瓶詰め作業は約3時間で完了し、その後、高圧殺菌釜（株式会社千代田製作所、TFK-T06 W-C）で高圧殺菌（119℃、60分）した。なお、試験2の40%置換&炭カルの供試ビン32本のうち、半数の16本は、ビンの口径が他よりも小さいことが高圧殺菌後に判明した。このことが試験結果に影響する可能性を考慮し、収穫まで他の供試ビンと同様に管理したが、データからは除外した。高圧殺菌後、供試ビンは半日程度室温17℃に設定されたクリーンルーム内で放熱し、おが粉種菌を約10 g接種した。

4. 栽培条件と子実体の収穫

接種後、試験培地ごとに供試ビンの管理位置が偏らないように、一つのコンテナ内に各試験培地あたり2本ずつ格納した。

栽培条件を表-2に示す。

接種後の培養は、室温17℃、湿度70%、二酸化炭素濃度2,000 ppm以下になるように設定した暗黒条件下の培養室内で行った。培養日数は、試験1が49日間、試験2が54日間、試験3, 4, および5が55日間だった。培養は台車に乗せたまま行った。

培養完了後、菌掻機（ホクト産業株式会社）を使用して発生処理を行った。発生処理は接種した種菌を削り取る「ひら掻き」で行い、常温下で2時間程度水道水を注水後、ビンを上向きに倒立させビン内の余剰水を排出した。余剰水の排出後はビンを上向きに戻した。

芽出し工程は、室温16℃、湿度96%以上、二酸化炭素濃度2,000 ppm以下に設定した暗黒条件下の部屋で管理した。発生処理面が乾燥しないよう、原基形成が完了す

るまで水道水で湿らせた厚さ8 mmの軟質ポリウレタンフォームで被覆した。なお、試験1, 2において、原基形成が完了するまでに要する期間が各供試ビンで異なったことから、原基形成完了後は、成長速度が類似する供試ビンごとにコンテナに格納して管理した。試験3, 4, および5については、培養開始から収穫までコンテナ内の供試ビンの管理位置は変更しなかった。

原基形成後は、試験1, 2については、軟質ポリウレタンフォームを除去し、室温16℃、湿度96%以上、二酸化炭素濃度2,000 ppm以下に設定した部屋で管理し、白色蛍光灯で1日あたり8時間照射した。白色蛍光灯の照度は、部屋中央で約100 lx、各コンテナ上で約30 lxとなるように調整した。以後、白色蛍光灯による1日あたり8時間の照射は収穫まで継続した。発生した子実体がマッチ棒の頭の大きさ程度になった時点で室温14℃、湿度96%以上、二酸化炭素濃度2,000 ppm以下に設定した部屋に移動させて管理し、その後、収穫適期の2, 3日前には、室温12℃、湿度96%以上、二酸化炭素濃度2,000 ppm以下に設定した部屋に移動させて管理した。試験3, 4, および5については、軟質ポリウレタンフォームを除去し、収穫まで室温12.5℃、湿度96%以上、二酸化炭素濃度2,000 ppm以下に設定した部屋で、試験1および2と同様に白色蛍光灯で1日あたり8時間照射して管理した。

すべての試験における子実体の収穫は、子実体の内皮膜が破れる直前に行った。調査は1番収穫までとし、ビンの口より上部の生質量を0.1 g単位で測定し、これを1供試ビンあたりの収量として記録した。また、試験1, 2については、各試験培地の供試ビンのうち無作為に7～18ビンを選定後、収穫した子実体の個数を計数し、これを1供試ビンあたりの子実体個数として記録した。さらに、すべての試験において、発生処理から収穫までの日数（以下、生育日数）を記録し、試験培地ごとに平均生育日数を求めた。

5. 培地のpH測定

各試験培地の殺菌後の培地pHを測定した。試験培地ごとに栽培試験の供試ビン32本のほかに1本作製し、栽培試験の供試ビンとともに高圧殺菌した後、半日程度室温17℃に設定されたクリーンルーム内で放熱し、その後培地pHを測定した。培地pHの測定は、培地を100 mLコニカルビーカーに10 g秤量し、そこに蒸留水を50 mL加え、5分間ホットプレートスターラー（HOT PLATE PC-351（AGCテクノグラス株式会社）とC-MAG HS 7（IKA）を併用）で攪拌し、室温で60分間静置した後、上澄み

液のpHをpHメーター（株式会社堀場製作所、LAQUA F-72）で測定した（表-1）。

6. 統計解析

各試験培地の違いがナメコの1供試ビンあたりの収量に与える効果を評価するため、一般化線形モデル（以下、GLM）で解析した。GLMのパラメータはベイズ推定した。解析は試験ごとに行った。応答変数には、1供試ビンあたりの収量を使用した。説明変数は試験で異なり、試験1, 3, 4, および5は試験培地の違い（8区分の質的データ）を使用した。試験2はスギおが粉の置換率（0, 20, 40, および70%の4区分の質的データ）、炭カル添加の有無（なし、ありの2区分の質的データ）、およびスギおが粉の置換率と炭カル有無の交互作用を使用した。ベイズ推定におけるMCMCのサンプリング設定は、バーンイン回数を1,000回、乱数生成の繰り返し数を2,000回、チェーン数を4本、事前分布には無情報分布を適用した。また、応答変数の誤差構造とリンク関数は試験で異なり、試験1, 3, 4, および5の誤差構造は正規分布、リンク関数はidentity、試験2の誤差構造はガンマ分布、リンク関数はlogとした。

試験1, 2について、各試験培地の違いがナメコの1供試ビンあたりの子実体個数に与える効果を評価するため、GLMで解析した。GLMのパラメータはベイズ推定した。解析は試験ごとに行った。応答変数には、1供試ビンあたりの子実体個数を使用した。説明変数、およびベイズ推定の設定は前述の収量を応答変数としたGLMと同様とした。

モデルの収束判断は収束指標であるRhatが1.1未満であることにより行った（松浦 2016）。なお、説明変数の効果は、事後分布の95%信用区間にゼロを含まない場合に統計学的に有意であると判断した。GLM解析はR version 4.4.2（R Core Team 2024）のbrmsパッケージのbrm関数（Bürkner 2017）で行い、Stan version 2.23（Stan Development Team 2020）を使用してベイズ推定した。

Ⅲ. 結 果

1. 栽培試験

試験1における各試験培地のナメコ子実体を写真-1に示す。試験1における1供試ビンあたりの収量は、50%置換で最も多く、次いで65%置換、40%置換、30%置換、20%置換、10%置換、0%置換、80%置換の順に多かった（表-3）。また、生育日数は、0%置換で最も短く、次いで

10%置換, 20%置換, 65%置換, 50%置換, 40%置換, 30%置換, 80%置換の順に短かった(表-3)。さらに, 1供試ビンあたりの子実体個数は, 20%置換で最も多く, 次いで10%置換, 0%置換, 30%置換, 40%置換, 50%置換, 65%置換, 80%置換の順に多かった(表-3)。

試験2における各試験培地のナメコ子実体を写真-2に示す。試験2における1供試ビンあたりの収量は, 0%置換&炭カルで最も多く, 次いで20%置換&炭カル, 40%置換&炭カル, 70%置換&炭カル, 40%置換, 20%置換, 70%置換, 0%置換の順に多かった(表-4)。また, 生育日数は, 70%置換&炭カルで最も短く, 次いで40%置換&炭カル, 20%置換&炭カル, 0%置換&炭カル, 0%置換, 20%置換, 70%置換, 40%置換の順に短かった(表-4)。さらに, 1供試ビンあたりの子実体個数は, 0%置換&炭カルで最も多く, 次いで20%置換&炭カル, 40%置換&炭カル, 0%置換, 20%置換, 70%置換&炭カル, 40%置換, 70%置換の順に多かった(表-4)。

試験3における各試験培地のナメコ子実体を写真-3に示す。試験3における1供試ビンあたりの収量は, 25%置換&炭カルで最も多く, 次いで0%置換&炭カル, 0%置換&炭カル・特ふすま割合増, 25%置換&炭カル増・特ふすま割合増, 25%置換&炭カル・特ふすま割合増, 50%置換&炭カル, 50%置換&炭カル・特ふすま割合増, 50%置換&炭カル増・特ふすま割合増の順に多かった(表-5)。また, 生育日数は, 25%置換&炭カル, 25%置換&炭カル・特ふすま割合増, 25%置換&炭カル増・特ふすま割合増, 50%置換&炭カル, 50%置換&炭カル・特ふすま割合増, 50%置換&炭カル増・特ふすま割合増で最も短く, 次いで0%置換&炭カル・特ふすま割合増, 0%置換&炭カルの順に短かった(表-5)。

試験4における各試験培地のナメコ子実体を写真-4に示す。試験4における1供試ビンあたりの収量は, 0%置換&炭カルで最も多く, 次いで25%置換&炭カル1.0%, 25%置換&炭カル0.7%, 25%置換&炭カル0.5%, 25%置換&炭カル0.3%, 70%置換&炭カル1.0%, 70%置換&炭カル0.5%, 70%置換&炭カル0.3%の順に多かった(表-6)。また, 生育日数は, 25%置換&炭カル0.7%で最も短く, 次いで25%置換&炭カル0.5%と25%置換&炭カル1.0%, 70%置換&炭カル1.0%, 70%置換&炭カル0.5%, 70%置換&炭カル0.3%, 25%置換&炭カル0.3%, 0%置換&炭カルの順に短かった(表-6)。

試験5における各試験培地のナメコ子実体を写真-5に示す。試験5における1供試ビンあたりの収量は, 0%置

換&炭カルで最も多く, 次いで25%置換&炭カル0.7%, 25%置換&炭カル1.0%, 25%置換&炭カル0.5%, 25%置換&炭カル0.3%, 70%置換&炭カル0.5%, 70%置換&炭カル1.0%, 70%置換&炭カル0.3%の順に多かった(表-7)。また, 生育日数は, 25%置換&炭カル0.5%と25%置換&炭カル1.0%で最も短く, 次いで25%置換&炭カル0.7%, 25%置換&炭カル0.3%, 0%置換&炭カル, 70%置換&炭カル1.0%, 70%置換&炭カル0.5%, 70%置換&炭カル0.3%の順に短かった(表-7)。

2. GLM解析

GLM解析のRhatはすべてのモデルで1.1未満であり, MCMCは収束したと判断した。

試験1における1供試ビンあたりの収量を応答変数としたGLM解析の結果(表-8), 10, 20, 30, 40, 50, および65%置換は0%置換に対して収量に有意な正の効果があった。一方で, 80%置換は0%置換に対して収量に有意な負の効果があった。また, 試験1における1供試ビンあたりの子実体個数を応答変数としたGLM解析の結果(表-9), 0%置換に対して子実体個数に有意な正の効果があった実験群はなかった。一方で, 80%置換は0%置換に対して子実体個数に有意な負の効果があった。

試験2における1供試ビンあたりの収量を応答変数としたGLM解析の結果(表-10), 置換率20, 40, 70%, および炭カル添加ありは置換率0%に対して収量に有意な正の効果があった。一方で, 置換率20, 40, 70%と炭カル添加ありの交互作用は置換率0%に対して収量に有意な負の効果があった。また, 試験2における1供試ビンあたりの子実体個数を応答変数としたGLM解析の結果(表-11), 炭カル添加ありは置換率0%に対して子実体個数に有意な正の効果があった。一方で, 置換率40, 70%と炭カル添加ありの交互作用は置換率0%に対して収量に有意な負の効果があった。

試験3における1供試ビンあたりの収量を応答変数としたGLM解析の結果(表-12), 0%置換&炭カルに対して収量に有意な正の効果があった実験群はなかった。一方で, 25%置換・特ふすま割合増, 50%置換&炭カル, 50%置換&炭カル・特ふすま割合増, 50%置換&炭カル増・特ふすま割合増は0%置換&炭カルに対して収量に有意な負の効果があった。

試験4における1供試ビンあたりの収量を応答変数としたGLM解析の結果(表-13), 0%置換&炭カルに対して収量に有意な正の効果があった実験群はなかった。一方で, 25%置換&炭カル0.3%, 25%置換&炭カル0.5%, 25%

置換&炭カル0.7%, 25%置換&炭カル1.0%, 70%置換&炭カル0.3%, 70%置換&炭カル0.5%, 70%置換&炭カル1.0%は0%置換&炭カルに対して収量に有意な負の効果があった。

試験5における1供試ビンあたりの収量を応答変数としたGLM解析の結果（表-14）、0%置換&炭カルに対して収量に有意な正の効果があった実験群はなかった。一方で、25%置換&炭カル0.3%, 25%置換&炭カル0.5%, 25%置換&炭カル0.7%, 25%置換&炭カル1.0%, 70%置換&炭カル0.3%, 70%置換&炭カル0.5%, 70%置換&炭カル1.0%は0%置換&炭カルに対して収量に有意な負の効果があった。

IV. 考 察

本研究では、施設空調型ナメコ高速栽培における培地基材としてのスギおが粉の利用可能性を検証するため、コナラおが粉に対するスギおが粉の置換率、炭酸カルシウムの添加、および特ふすま混合割合増加の効果検証を栽培試験により行った。栽培試験の結果、スギおが粉を混合した培地（以下、スギおが粉培地）において、生産現場において一般的と考えられる0%置換&炭カルより、明確に増収した培地はなかった。しかし、試験培地2において、20%置換&炭カルの収量は0%置換&炭カルより劣ったが、その差は約6 g（表-4）に過ぎなかったこと、また、試験3～5において、スギおが粉の置換率が25%の培地の収量は0%置換&炭カルとの差がほとんどゼロ（表-12）、あるいは約5～10 g（表-12～14）に過ぎなかったことから、コナラおが粉を培地基材とした施設空調型ナメコ高速栽培において、スギおが粉はコナラおが粉の25%（乾燥、容積率）まで置換できることが示唆された。ナメコの経営指標によると、コナラなどの広葉樹おが粉の1 m³あたり単価は7,500円で、年間1万本の800 mLビンで栽培すると9 m³の広葉樹おが粉を使用するため、年間の広葉樹おが粉の費用は67,500円となる（木村 2022）。一方で、針葉樹おが粉1 m³あたりの単価は4,500円（芳川 2022）と広葉樹おが粉よりも安い。本研究における試験2～5の結果より、コナラおが粉の容積25%をスギおが粉で置換できると仮定すると、年間2.25 m³（9 m³の25%）のコナラおが粉をスギおが粉で置換でき、おが粉の資材費を年間1万本の800 mLビンで栽培すると年間6,750円 {67,500円 - 50,625円（7,500円/m³ × 6.75 m³） - 10,125円（4,500円/m³ × 2.25 m³）} 削減できると試算され

る。ただし、スギおが粉はおが粉に加工してすぐには使用できず、スギおが粉を野積みするための保管場所が必要である。

炭カルを添加しなかった試験1において、スギおが粉培地のうち80%置換以外は、培地基材の全量をコナラおが粉で構成した0%置換よりも約3～12 g収量が有意に多く（表-8）、また、子実体個数は約8～8個の差（表-3, 9）に過ぎなかった。したがって、炭カルを添加しない場合においては、スギおが粉培地は、0%置換よりもナメコ菌床栽培に有効であることが示唆された。針葉樹おが粉を使用する場合、培地への混入率を20%以下に止めないと発生量は低下する（小出 1992）とされるが、本研究はそれと異なる結果になった。収量が増加した理由として、培地pHが0%置換よりもスギおが粉培地のほうがナメコ菌糸に適していたことが影響した可能性がある。一般的に糸状菌の繁殖に好適な培地pHは4～6の範囲（小出 1992）とされており、ナメコでは4.6～6.0が好適（庄司 2022）で5.6が最適（小出 1992; 庄司 2022）とされる。本研究における0%置換の培地pHは試験1が5.081、試験2が4.939と5.6より値が小さく、スギおが粉培地のpHは試験1, 2ともに置換率が大きくなるほど5.6に近い値だった（表-1）。一方で、試験1において培地pHが5.6に最も近い値だった80%置換では収量および子実体個数が有意に減少した（表-8）。本研究において、コナラおが粉に対するスギおが粉の置換率が増加するにつれ、瓶詰め機による培地成形時に培地が崩れやすかった。特に、80%置換では接種孔が崩れた供試ビンが散見され、このことが接種後のナメコ菌糸体の成長を阻害し、収量および子実体個数の減少につながった可能性がある。

炭カル添加の効果検証を行った試験2の結果、炭カルを添加し、培地基材の全量をコナラおが粉で構成した0%置換&炭カルおよび炭カルを添加したスギおが粉培地いずれにおいても炭カルを添加しなかった試験培地より収量および子実体個数は増加し（表-4）、GLM解析においては、炭カル添加により収量は1.41倍、子実体個数は1.23倍増加すると推定された（表-10, 11）。ナメコ菌床栽培で消石灰などを培地に混入すると発生量が増加するとされるが、この効果はおが粉の樹種により異なり、コナラ、ミズナラなどのおが粉では有効（庄司 1982）とされる。本研究においては、培地基材の全量をコナラおが粉で構成した培地に限らず、スギおが粉培地においても炭カル添加による増収効果が確認されたことから、スギは少なくともコナラおが粉と混合した場合、pH調整剤

による増収効果が期待できる樹種であると考えられた。一方で、GLM解析の結果、収量および子実体個数ともに、スギおが粉の置換率と炭カル添加の交互作用は負の値と推定され(表-10, 11), また、置換率が増加するほどその値は大きくなったことから、炭カル添加の効果はスギおが粉の置換率が増えるほど低下することが示唆された。これは、置換率が増加するにつれ、培地pHがナメコにとって好適な4.6～6.0から離れた(表-1)ことが影響したと考えられた。

一方で、炭カル添加量を変化させた試験3, 4, および5において、添加量の増減による増収効果は確認できなかった(表-12～14)。本研究では、添加材に炭カルを使用した、消石灰など他の添加材の添加量を増減させることで、増収するかどうかは今後の課題としたい。

本研究では、栄養材として特ふすまを培地に混合した。白色腐朽菌による木材腐朽は培地あるいは木材中に炭素源を添加すると促進される(例えば、松岡 1977)。また、寺嶋 (2010) は、ヒラタケ (*Pleurotus ostreatus*), シロアミタケ属 (*Trametes*) の一種、ヒイロタケ (*Pycnoporus coccineus*) を使用したスギ木粉培地のリグニン減少率を調べ、ふすまの添加によりリグニン減少率が高くなったことから、針葉樹材の分解は炭素源の添加により促進されることを確認した。このことから、本研究においては、培地に特ふすまなどの栄養材を添加することでリグニン分解が促進されたため、ナメコ栽培に不適なスギおが粉であっても培地基材の代替資材として利用できたと示唆された。一方で、試験3において特ふすまの混合割合を増加させた培地における収量は、培地基材がコナラおが粉から構成された培地では増収せず、特に、スギおが粉を混合した培地においては減収した(表-5, 12)。このことから、特ふすまなどの炭素源の添加によるスギおが粉の分解促進効果は一定量で頭打ちもしくは減少する可能性が示唆された。

先行研究において、スギおが粉の混合量が増加すると生育日数が延長する(本間・篠田 1984) 場合があった。本研究においては、炭カルを添加しない場合、スギおが粉の置換率が増加すると約0.5～1.0日延長した(表-3, 4)が、スギおが粉培地に炭カルを添加することで、0%置換&炭カルと同等の生育日数で栽培することができた(表-4, 5)。このことから、スギおが粉を混合した培地において、炭カルは生育日数を短縮する効果があることが示唆された。

白色腐朽菌にとって、スギおが粉などの針葉樹おが粉

が広葉樹おが粉よりも分解しにくい理由としては、針葉樹と広葉樹ではリグニンの化学構造に相違があり、針葉樹リグニン(グアイアシルリグニン)は広葉樹に多いシリングルリグニンより微生物分解を受けにくい(例えば、高橋 1989) ためである。ナメコと同様に、針葉樹おが粉を栽培に使用することが不適なシイタケ (*Lentinula edodes*) において、コナラおが粉とスギおが粉をそれぞれ使用して菌床栽培した結果、培養完了時のリグニン減少率はコナラよりもスギおが粉で劣った(山内ら 2010) と報告されている。このことから、本研究のナメコ菌床栽培においてもコナラおが粉よりスギおが粉のリグニン分解は劣り、また、短い培養期間ではナメコによるスギおが粉の分解が進んでおらず、十分に資化できていない可能性がある。このため、培養期間を延長することで増収するか検証し、資材費あたりの収量性が高い、スギおが粉を利用したナメコ菌床栽培を検討することが望ましい。

開示すべき利益相反はない。

引用文献

- Bürkner PC. 2017. brms: An R package for Bayesian multilevel models using Stan. *J Stat Softw.* 80 (1) : 1-28.
- 本間広之, 篠田茂. 1984. 未利用樹種によるナメコの培地組成法の開発. *新潟県林業試験場研究報告.* 26: 79-92.
- 木村栄一. 2014. 施設空調型・高速型ナメコ栽培の最新技術. 大橋等編, 改訂版最新きのこ栽培技術. 東京: 株式会社プランツワールド. p. 173-178.
- 木村栄一. 2022. ナメコの経営指標. 特産情報きのこ年鑑編集部編, きのこ年鑑2022年度版. 東京: 株式会社プランツワールド. p. 236-239.
- 小出博志. 1992. ナメコ. 最新バイオテクノロジー全書編集委員会編, 最新バイオテクノロジー全書7 きのこの増殖と育種. 東京: 農業図書株式会社. p. 206-228.
- 熊田淳. 2001. ナメコ. 大森清寿・小出博志編, キノコ栽培全科. 東京: 農山漁村文化協会. p. 65-75.
- 増野和彦. 2012. きのこ栽培へのカラマツ等針葉樹の利用状況について(長野県林業総合センター技術情報); [2025.4.19参照]. <https://www.pref.nagano.lg.jp/ringyosogo/seika/gijyutsu/documents/142-5.pdf>.

松岡昭四郎. 1977. 室内木材腐朽試験における培養基中の炭素源と窒素源の組成の検討. 林試研報. 29: 183-194.

松浦健太郎. 2016. StanとRでベイズ統計モデリング. 東京: 共立出版.

内閣官房. 2023. 花粉症対策の全体像; [2026.1.8参照]. http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kafun/pdf/230530_honbun.pdf.

農林水産省. 2025. 令和6年特用林産物生産統計調査結果; [2025.9.9参照]. <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00501004&tstat=000001021191&cycle=7&year=20240&month=0&tclass1=000001021192&tclass2=000001231845>.

R Core Team. 2024. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

林野庁. 2024. 令和6年版森林・林業白書. 東京: 全国林業改良普及協会.

斎藤利隆, 篠原弥寿夫. 1984. 未利用樹種によるナメコ培地組成方法の開発に関する試験. 長野県林業指導所業務報告. 昭和58年度: 128-137.

庄司当. 1982. ナメコ. 中村克哉編, キノコの辞典. 東京: 株式会社朝倉書店. p. 332-362.

庄司當. 2022. ナメコ. 衣川堅二郎, 小川眞編, きのことハンドブック新装版. 東京: 株式会社朝倉書店. p. 77-91.

Stan Development Team. 2020. Stan: A C++ Library for Probability and Sampling, Version 2.23.

高橋旨象. 1989. 木材の腐朽. きのこと木材 (きのこの生物学シリーズ6). 東京: 築地書館. p. 53-76.

寺嶋芳江. 2010. リグニン分解能力を指標にした針葉樹高分解菌の選抜. 木材学会誌. 56 (5) : 339-346.

渡部正明, 庄司当, 前沢芳樹, 渡部秀行. 1984. 食用きのこ類の高度生産技術に関する総合研究－未利用樹種によるナメコ培地組成法の開発－. 福島県林業試験場研究報告. 16: 113-119.

山内隆弘, 枝克昌, 鮎澤澄夫, 長島葵, 松本かほる, 飯塚和也, 横田信三, 石栗太, 吉澤伸夫. 2010. シイタケ菌床栽培におけるスギ材適応品種の栽培特性. 木材学会誌. 56 (2) : 113-121.

芳川諒. 2022. プナシメジの経営指標. 特産情報きのこ年鑑編集部編, 2022年度版きのこ年鑑. 東京: 株式会社プランツワールド. p. 244-246.

表-1. 栽培試験の培地条件

試験番号	試験培地	培地基材 (g, 乾燥質量)		栄養材 (g, 乾燥質量)		添加材 (g, 乾燥質量)		水 (g)	充填量 (g)	含水率 (%、湿量基準)	殺菌後培地pH	n
		コナラおが粉	スギおが粉	特ふすま	炭酸カルシウム							
1	0%置換 (対照群)	157.56	-	45.74	-	331.7	535.0	62.0	5.081	32		
	10%置換	141.80	9.61	45.74	-	321.7	518.8	62.0	5.042	32		
	20%置換	126.05	19.23	45.74	-	311.7	502.7	62.0	5.083	32		
	30%置換	110.29	28.84	45.74	-	301.6	486.5	62.0	5.132	32		
	40%置換	94.53	38.46	45.74	-	291.6	470.4	62.0	5.173	32		
	50%置換	78.78	48.07	45.74	-	281.6	454.2	62.0	5.208	32		
	65%置換	55.15	62.50	45.74	-	266.6	430.0	62.0	5.303	32		
	80%置換	31.51	76.92	45.74	-	251.5	405.7	62.0	5.447	32		
2	0%置換 (対照群)	157.56	-	45.74	-	331.7	535.0	62.0	4.939	32		
	0%置換&炭カル	157.56	-	45.74	2.03	335.0	540.4	62.0	6.024	32		
	20%置換	126.05	19.23	45.74	-	311.7	502.7	62.0	5.003	32		
	20%置換&炭カル	126.05	19.23	45.74	2.03	315.0	508.0	62.0	6.144	32		
	40%置換	94.53	38.46	45.74	-	291.6	470.4	62.0	5.120	32		
	40%置換&炭カル	94.53	38.46	45.74	2.03	294.9	475.7	62.0	6.206	16		
	70%置換	47.27	67.30	45.74	-	261.6	421.9	62.0	5.302	32		
	70%置換&炭カル	47.27	67.30	45.74	2.03	264.9	427.2	62.0	6.302	32		
3	0%置換&炭カル (対照群)	161.54	-	46.90	2.08	343.5	554.0	62.0	6.375	32		
	0%置換&炭カル・特ふすま割合増	150.07	-	58.36	2.08	343.5	554.0	62.0	6.320	32		
	25%置換&炭カル	121.15	24.64	46.90	2.08	317.8	512.6	62.0	6.408	32		
	25%置換&炭カル・特ふすま割合増	112.56	22.90	58.36	2.08	319.6	515.5	62.0	6.390	32		
	25%置換&炭カル増・特ふすま割合増	112.56	22.90	58.36	4.17	323.0	521.0	62.0	6.552	32		
	50%置換&炭カル	80.77	49.29	46.90	2.08	292.1	471.2	62.0	6.540	32		
	50%置換&炭カル・特ふすま割合増	75.04	45.79	58.36	2.08	295.8	477.0	62.0	6.489	32		
	50%置換&炭カル増・特ふすま割合増	75.04	45.79	58.36	4.17	299.2	482.5	62.0	6.666	32		
4および5	0%置換&炭カル (対照群)	157.16	-	45.63	2.03	334.2	539.0	62.0	6.280 (試験4), 6.209 (試験5)	32		
	25%置換&炭カル0.3%	117.87	21.50	45.63	0.61	302.8	488.5	62.0	5.898 (試験4), 5.759 (試験5)	32		
	25%置換&炭カル0.5%	117.87	21.50	45.63	1.01	303.5	489.5	62.0	6.027 (試験4), 5.888 (試験5)	32		
	25%置換&炭カル0.7%	117.87	21.50	45.63	1.42	304.2	490.6	62.0	6.181 (試験4), 6.065 (試験5)	32		
	25%置換&炭カル1.0%	117.87	21.50	45.63	2.03	305.2	492.2	62.0	6.312 (試験4), 6.188 (試験5)	32		
	70%置換&炭カル0.3%	47.15	60.21	45.63	0.61	250.6	404.2	62.0	6.106 (試験4), 6.014 (試験5)	32		
	70%置換&炭カル0.5%	47.15	60.21	45.63	1.01	251.3	405.3	62.0	6.224 (試験4), 6.151 (試験5)	32		
	70%置換&炭カル1.0%	47.15	60.21	45.63	2.03	252.9	407.9	62.0	6.450 (試験4), 6.416 (試験5)	32		

試験2の40%置換&炭カルのサンプルサイズ (n) が16であるのは、他の供試ビンよりも栽培ビンの口径が小さかった16本をデータから除外したためである。

表-2. 栽培試験の栽培条件

試験 番号	培養条件					芽出し工程条件			
	室温 (°C)	湿度 (%)	二酸化炭素 濃度 (ppm)	光条件等	日数	室温 (°C)	湿度 (%)	二酸化炭素 濃度 (ppm)	光条件等
1					49				
2					54				
3	17.0	70.0	2,000以下	暗黒	55	16.0	96.0 以上	2,000以下	・暗黒 ・菌床面を 被覆
4					55				
5					55				

試験 番号	生育条件											
	前期				中期 (子実体がマッチ棒の頭の大きさ程度)				後期 (収穫適期の2, 3日前)			
	室温 (°C)	湿度 (%)	二酸化炭素 濃度 (ppm)	光条件等	室温 (°C)	湿度 (%)	二酸化炭素 濃度 (ppm)	光条件等	室温 (°C)	湿度 (%)	二酸化炭素 濃度 (ppm)	光条件等
1	16.0				14.0	96.0 以上	2,000以下	白色蛍光灯 で8時間/日 照射	12.0	96.0 以上	2,000以下	白色蛍光灯 で8時間/日 照射
2		96.0 以上	2,000以下	白色蛍光灯 で8時間/日 照射								
3												
4	12.5							前期と同様				前期と同様
5												

表-3. 試験1における各試験培地のナメコ子実体の収量, 生育日数および子実体個数

試験培地	収量 (g/ビン)		生育日数 (日)			子実体個数 (個/ビン)		
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	n	平均値	標準偏差	n
0%置換 (対照群)	111.52	4.31	16.65	0.61	31	189.77	17.91	13
10%置換	114.75	3.93	16.81	0.69	32	190.14	22.47	14
20%置換	119.80	4.78	16.84	0.51	32	197.92	20.24	12
30%置換	121.16	4.67	17.81	0.78	32	187.89	18.13	9
40%置換	122.66	5.50	17.72	1.02	32	183.83	27.39	12
50%置換	123.58	4.59	17.47	1.16	32	181.46	20.54	13
65%置換	122.72	3.19	17.03	0.40	32	180.83	15.78	12
80%置換	105.02	7.80	17.94	0.84	32	123.33	21.23	18

試験培地の%は, 培地基材のコナラおが粉に対するスギおが粉の置換率 (乾燥, 容積率) を示す。
0%置換 (対照群) のサンプルサイズ (n) が31 (表中央上部) であるのは, 生育室上方からの水滴が浸水した1本をデータから除外したためである。

表-4. 試験2における各試験培地のナメコ子実体の収量，生育日数および子実体個数

試験培地	収量 (g/ビン)		生育日数 (日)		n	子実体個数 (個/ビン)		
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差		平均値	標準偏差	n
0%置換 (対照群)	108.32	3.31	16.06	0.44	32	178.10	14.90	10
0%置換&炭カル	153.29	9.16	15.56	0.56	32	218.14	18.52	7
20%置換	112.30	4.07	16.16	0.51	32	176.47	13.34	15
20%置換&炭カル	146.97	6.58	15.50	0.57	32	213.00	13.31	12
40%置換	117.37	4.89	16.63	0.49	32	172.29	15.69	14
40%置換&炭カル	142.90	4.91	15.38	0.62	16	187.38	11.33	8
70%置換	111.91	4.51	16.47	0.51	32	166.43	15.05	7
70%置換&炭カル	127.89	6.54	15.19	0.40	32	175.75	10.14	8

試験培地の「%」は，培地基材のコナラおが粉に対するスギおが粉の置換率（乾燥，容積率）を示す。
 試験培地の「&炭カル」は，培地に炭酸カルシウムを添加したことを示す。
 40%置換&炭カルのサンプルサイズ (n) が16（表中央下部）であるのは，他の供試ビンよりも栽培ビンの口径が小さかった16本をデータから除外したためである。

表-5. 試験3における各試験培地のナメコ子実体の収量および生育日数

試験培地	収量 (g/ビン)		生育日数 (日)		n
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
0%置換&炭カル (対照群)	161.47	6.90	16.16	0.37	32
0%置換&炭カル・特ふすま割合増	160.56	10.80	16.13	0.34	32
25%置換&炭カル	161.83	8.16	16.00	0.00	32
25%置換&炭カル・特ふすま割合増	156.76	8.56	16.00	0.00	32
25%置換&炭カル増・特ふすま割合増	160.18	9.82	16.00	0.00	32
50%置換&炭カル	150.48	6.85	16.00	0.00	32
50%置換&炭カル・特ふすま割合増	140.72	8.73	16.00	0.00	32
50%置換&炭カル増・特ふすま割合増	139.05	9.13	16.00	0.00	32

試験培地の「%」は，培地基材のコナラおが粉に対するスギおが粉の置換率（乾燥，容積率）を示す。
 試験培地の「&炭カル」は，培地に炭酸カルシウムを添加したことを示す。
 試験培地の「&炭カル増」は，「&炭カル」よりも添加した炭酸カルシウムを増量したことを示す。
 試験培地の「特ふすま割合増」は，培地の特ふすまを増量し，培地基材を減量することで，培地に含まれる特ふすまの割合を増加させたことを示す。

表-7. 試験5における各試験培地のナメコ子実体の収量および生育日数

試験培地	収量 (g/ビン)		生育日数 (日)		n
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
0%置換&炭カル (対照群)	164.08	6.42	16.19	0.40	32
25%置換&炭カル0.3%	155.10	5.17	16.13	0.34	32
25%置換&炭カル0.5%	157.34	6.06	16.06	0.25	32
25%置換&炭カル0.7%	158.88	5.80	16.09	0.30	32
25%置換&炭カル1.0%	158.59	5.03	16.06	0.25	32
70%置換&炭カル0.3%	121.30	5.06	16.84	0.37	32
70%置換&炭カル0.5%	124.43	5.06	16.81	0.47	32
70%置換&炭カル1.0%	121.86	3.77	16.38	0.49	32

試験培地の「%」は，培地基材のコナラおが粉に対するスギおが粉の置換率（乾燥，容積率）を示す。
 試験培地の「&炭カルy%」は，培地に炭酸カルシウムを対照群の培地資材における乾燥質量y%添加したことを示す。

表-6. 試験4における各試験培地のナメコ子実体の収量および生育日数

試験培地	収量 (g/ビン)		生育日数 (日)		n
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
0%置換&炭カル (対照群)	164.53	7.86	17.50	0.51	32
25%置換&炭カル0.3%	153.37	4.96	17.41	0.50	32
25%置換&炭カル0.5%	157.71	5.61	17.09	0.47	32
25%置換&炭カル0.7%	158.23	5.12	17.06	0.50	32
25%置換&炭カル1.0%	160.04	5.23	17.09	0.47	32
70%置換&炭カル0.3%	119.46	5.30	17.25	0.51	32
70%置換&炭カル0.5%	121.58	4.20	17.22	0.42	32
70%置換&炭カル1.0%	122.98	4.62	17.09	0.73	32

試験培地の「%」は，培地基材のコナラおが粉に対するスギおが粉の置換率（乾燥，容積率）を示す。
 試験培地の「&炭カルy%」は，培地に炭酸カルシウムを対照群の培地資材における乾燥質量y%添加したことを示す。

表-8. 試験1におけるナメコ子実体の収量を応答変数としたGLMの結果

項目	事後期待値	事後標準偏差	95%信用区間	
			下限	上限
Intercept (0%置換)*	111.52	0.94	109.70	113.31
10%置換*	3.21	1.30	0.62	5.74
20%置換*	8.27	1.31	5.68	10.78
30%置換*	9.62	1.28	7.08	12.12
40%置換*	11.14	1.28	8.62	13.68
50%置換*	12.07	1.31	9.46	14.61
65%置換*	11.21	1.30	8.69	13.80
80%置換*	-6.52	1.30	-9.09	-4.06

単位はg。
 試験培地の%は，培地基材のコナラおが粉に対するスギおが粉の置換率（乾燥，容積率）を示す。
 *が付いた説明変数は，95%信用区間にゼロを含まなかったことを示す。

表-9. 試験1におけるナメコ子実体個数を応答変数としたGLMの結果

項目	事後期待値	事後標準偏差	95%信用区間	
			下限	上限
Intercept (0%置換)*	189.83	5.86	178.07	201.36
10%置換	0.48	8.10	-15.67	16.19
20%置換	8.22	8.46	-8.15	24.81
30%置換	-1.91	9.34	-20.11	16.98
40%置換	-5.76	8.49	-22.16	11.34
50%置換	-8.27	8.44	-24.80	8.06
65%置換	-8.79	8.33	-25.82	7.44
80%置換*	-66.54	7.54	-81.24	-51.86

単位は個。

試験培地の%は、培地基材のコナラおが粉に対するスギおが粉の置換率（乾燥、容積率）を示す。

*が付いた説明変数は、95%信用区間にゼロを含まなかったことを示す。

表-10. 試験2におけるナメコ子実体の収量を応答変数としたGLMの結果

項目	事後期待値	事後標準偏差	95%信用区間		事後期待値を 指数変換した値
			下限	上限	
Intercept (0%置換)*	4.69	0.01	4.67	4.70	108.34
置換率20%の効果*	0.04	0.01	0.01	0.06	1.04
置換率40%の効果*	0.08	0.01	0.06	0.10	1.08
置換率70%の効果*	0.03	0.01	0.01	0.05	1.03
炭カル添加ありの効果*	0.35	0.01	0.32	0.37	1.41
置換率20%と炭カル添加ありの交互作用*	-0.08	0.02	-0.11	-0.05	0.92
置換率40%と炭カル添加ありの交互作用*	-0.15	0.02	-0.19	-0.11	0.86
置換率70%と炭カル添加ありの交互作用*	-0.21	0.02	-0.25	-0.18	0.81

単位はg。

置換率は、培地基材のコナラおが粉に対するスギおが粉の乾燥容積率を示す。

*が付いた説明変数は、95%信用区間にゼロを含まなかったことを示す。

表-11. 試験2におけるナメコ子実体個数を応答変数としたGLMの結果

項目	事後期待値	事後標準偏差	95%信用区間		事後期待値を 指数変換した値
			下限	上限	
Intercept (0%置換)*	5.18	0.02	5.13	5.23	178.03
置換率20%の効果	-0.01	0.03	-0.07	0.06	0.99
置換率40%の効果	-0.03	0.03	-0.10	0.03	0.97
置換率70%の効果	-0.07	0.04	-0.14	0.01	0.94
炭カル添加ありの効果*	0.20	0.04	0.13	0.28	1.23
置換率20%と炭カル添加ありの交互作用	-0.02	0.05	-0.12	0.07	0.98
置換率40%と炭カル添加ありの交互作用*	-0.12	0.05	-0.22	-0.02	0.89
置換率70%と炭カル添加ありの交互作用*	-0.15	0.06	-0.26	-0.04	0.86

単位は個。

置換率は、培地基材のコナラおが粉に対するスギおが粉の乾燥容積率を示す。

*が付いた説明変数は、95%信用区間にゼロを含まなかったことを示す。

表-12. 試験3におけるナメコ子実体の収量を応答変数としたGLMの結果

項目	事後期待値	事後標準偏差	95%信用区間	
			下限	上限
Intercept (0%置換&炭カル)*	161.46	1.56	158.41	164.56
0%置換&炭カル・特ふすま割合増	-0.87	2.17	-4.95	3.40
25%置換&炭カル	0.35	2.23	-3.99	4.80
25%置換&炭カル・特ふすま割合増*	-4.70	2.18	-8.87	-0.34
25%置換&炭カル増・特ふすま割合増	-1.27	2.19	-5.46	3.05
50%置換&炭カル*	-10.96	2.20	-15.13	-6.64
50%置換&炭カル・特ふすま割合増*	-20.69	2.19	-24.95	-16.36
50%置換&炭カル増・特ふすま割合増*	-22.39	2.23	-26.73	-17.85

単位はg。

試験培地の「%」は、培地基材のコナラおが粉に対するスギおが粉の置換率（乾燥、容積率）を示す。

試験培地の「&炭カル」は、培地に炭酸カルシウムを添加したことを示す。

試験培地の「&炭カル増」は、「&炭カル」よりも添加した炭酸カルシウムを増量したことを示す。

試験培地の「特ふすま割合増」は、培地の特ふすまを増量し、培地基材を減量することで、培地に含まれる特ふすまの割合を増加させたことを示す。

*が付いた説明変数は、95%信用区間にゼロを含まなかったことを示す。

表-13. 試験4におけるナメコ子実体の収量を応答変数としたGLMの結果

項目	事後期待値	事後標準偏差	95%信用区間	
			下限	上限
Intercept (0%置換&炭カル)*	164.58	0.99	162.64	166.57
25%置換&炭カル0.3%*	-11.23	1.39	-13.94	-8.53
25%置換&炭カル0.5%*	-6.89	1.41	-9.63	-4.10
25%置換&炭カル0.7%*	-6.37	1.37	-9.03	-3.70
25%置換&炭カル1.0%*	-4.54	1.39	-7.29	-1.72
70%置換&炭カル0.3%*	-45.10	1.40	-47.90	-42.40
70%置換&炭カル0.5%*	-43.00	1.38	-45.70	-40.36
70%置換&炭カル1.0%*	-41.60	1.39	-44.35	-38.96

単位はg。

試験培地の「%」は、培地基材のコナラおが粉に対するスギおが粉の置換率（乾燥、容積率）を示す。

試験培地の「&炭カルy%」は、培地に炭酸カルシウムを対照群の培地資材における乾燥質量y%添加したことを示す。

*が付いた説明変数は、95%信用区間にゼロを含まなかったことを示す。

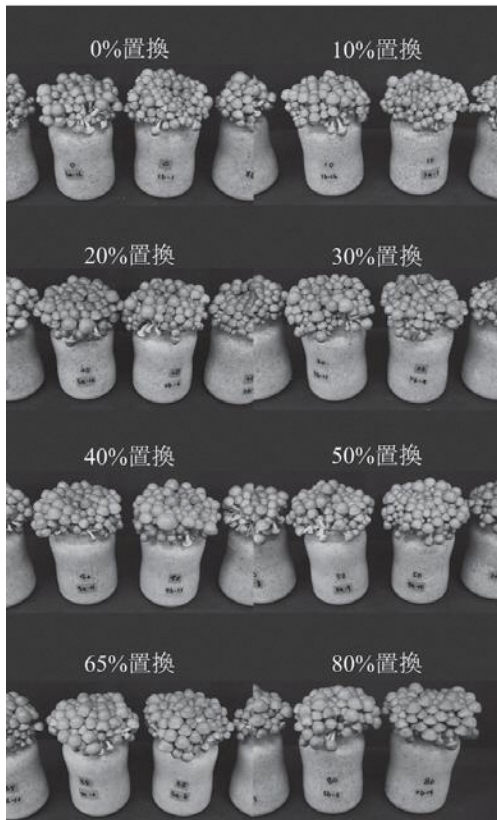


写真-1. 試験1における各試験培地のナメコ子実体

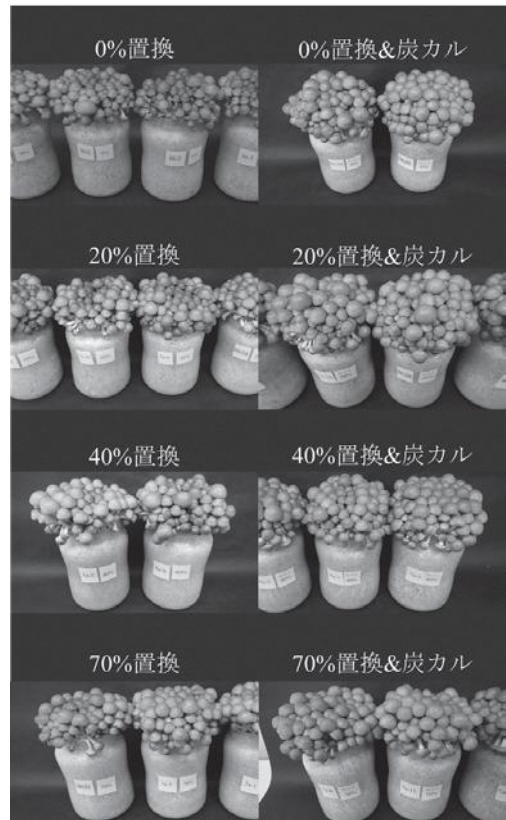


写真-2. 試験2における各試験培地のナメコ子実体

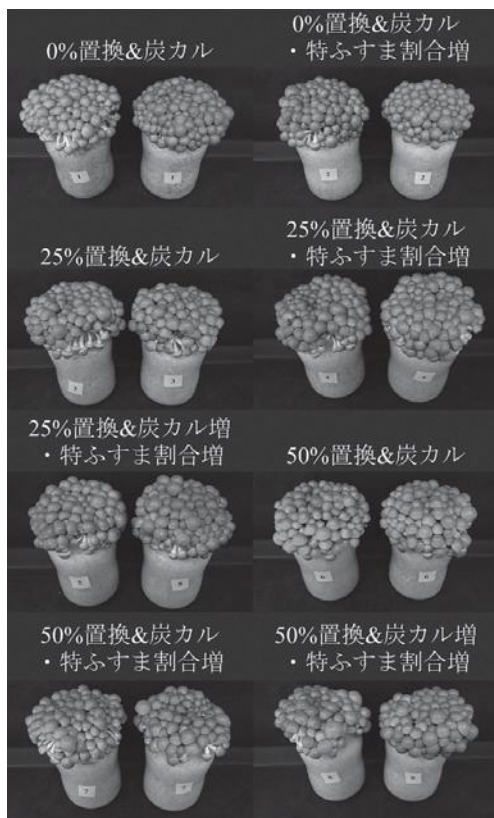


写真-3. 試験3における各試験培地のナメコ子実体

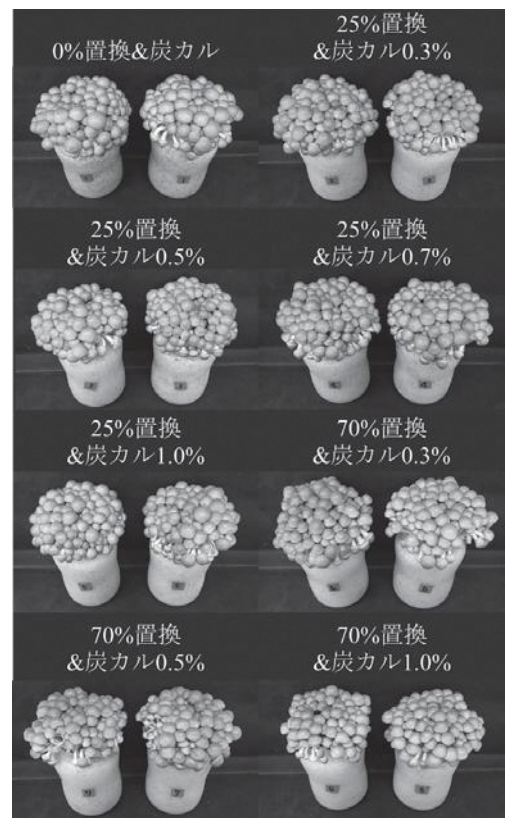


写真-4. 試験4における各試験培地のナメコ子実体

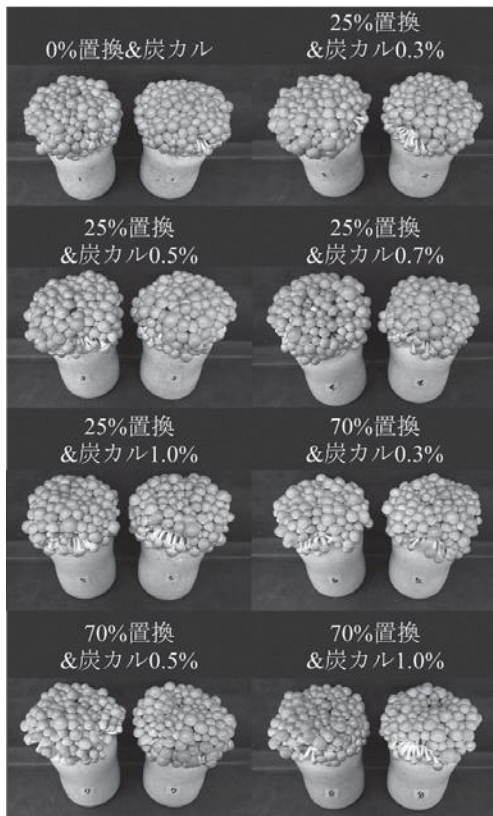


写真-5. 試験5における各試験培地のナメコ子実体

【抄報】

コナラおが粉を培地基材としたナメコ菌床栽培における コーンコブミール培地のエノキタケ廃菌床による培地基材置換率の検証

清水達哉¹・島津桃子¹

ナメコ菌床栽培におけるコーンコブミール培地のエノキタケ廃菌床（以下廃菌床）による培地基材置換率の検証を2つの栽培試験で行った。一つ目はコナラおが粉が培地基材の培地を対照群、培地基材を廃菌床により6通りの置換率で置換した培地を実験群とした。二つ目は、一つ目と同様の対照群と、対照群に炭酸カルシウム（以下炭カル）を1供試ビンあたり約2 g添加したもの、そして、培地基材を廃菌床により5通りの置換率で置換し、炭カルを1供試ビンあたり約2 g添加したものを実験群とした。栽培試験の結果、対照群と比較し、置換率10, 20%では大幅に収量が増収した。一方で、置換率55, 75%では大幅に減収し、75%では収穫に至らないものが多数存在した。また廃菌床で置換した実験群における炭カルの添加による効果は一定でなかった。

(関東森林研究 76 : 169-172)

【抄報】

スギおが粉エノキタケ菌床栽培におけるナメコ廃菌床の利用

清水達哉¹

スギおが粉を培地基材としたエノキタケ菌床栽培において、ナメコ廃菌床が培地基材の置換材として利用可能かを二つの栽培試験で検証した。一つ目は、培地基材の全量をスギおが粉とした対照群（以下0%置換）、培地基材のスギおが粉の容積率10, 20, 30, 50, 70, および100%をナメコ廃菌床で置換した培地を実験群とした。二つ目は、一つ目の実験群に炭酸カルシウムを1供試ビン当たり0.95 g添加した培地を実験群とした。その結果、0%置換に対して有意に子実体の収量が増えた実験群はなかったが、0%置換とほとんどの実験群との収量の差は10 g程度だった。また生育日数はどの実験群も0%置換と明確な差異はみられなかった。したがって、ナメコ廃菌床はエノキタケ菌床栽培において培地基材の置換材として利用できると思われた。

(日林誌 107 : 123-127)

¹新潟県森林研究所（〒958-0264 新潟県村上市鶴渡路2249-5）

【抄報】

ナメコ菌床栽培におけるナメコ廃菌床の利用

清水達哉¹

コナラおが粉を培地基材としたナメコ菌床栽培において、ナメコ廃菌床が培地基材の置換材として利用可能かを二つの栽培試験で検証した。一つ目は、培地基材の全量をコナラおが粉とした対照群（以下0%置換）、コナラおが粉（乾燥）の容積率10, 20, 30, 50, 70, および100%をナメコ廃菌床（乾燥）で置換した培地を実験群とした試験培地を設定した。二つ目は、一つ目の栽培試験同様に0%置換を対照群、一つ目の試験培地に炭酸カルシウムを1供試ビンあたり乾燥質量2.03 g添加したものを実験群とした試験培地を設定した。栽培試験の結果、一つ目の栽培試験では約25～50%、二つ目では約40～50%、0%置換よりも培地基材をナメコ廃菌床で置換した実験群の収量が増加し、二つの栽培試験ともに生育日数は約1日短縮された。したがって、ナメコ廃菌床はコナラおが粉よりもナメコ菌床栽培の培地基材に適しており、置換材として有効に利用できると考えられた。

(日林誌 107 : 225-230)

¹新潟県森林研究所（〒958-0264 新潟県村上市鶴渡路2249-5）

【抄報】

出荷適正サイズ維持のためのブナ苗木の成長抑制

田中樹己¹・塚原雅美¹・伊藤幸介²

結実の豊凶があり、毎年播種できないブナ (*Fagus crenata*) の苗木を安定的に供給するために、苗畑で成長を抑制し出荷適正サイズを長期間維持する方法を検討した。新潟県十日町市の苗畑において、1年生時の子葉展開直後に追肥する区画（追肥区）と追肥しない区画（無追肥区）を設置して5年間ブナを育苗し、苗長および地際直径に及ぼす追肥の影響を検証した結果、無追肥区では追肥区と比較して1から5年生時の苗長および地際直径が抑制された。出荷適正サイズ苗の割合は、3から5年生時の無追肥区で追肥区より高かった。生存率は、無追肥区でも大幅な低下はみられなかった。形状比は、2から5年生時まで無追肥区で追肥区より低く、無追肥区でも苗木の品質は維持されていると考えられた。以上より、追肥をしないことでブナ苗木の成長を抑制でき、苗畑でブナの豊凶周期を最低限カバーする5年間、出荷適正サイズおよび品質を維持できる可能性が示唆された。

(日林誌 107 : 231-236)

¹新潟県森林研究所（〒958-0264 新潟県村上市鶴渡路2249-5）

²新潟県村上地域振興局農林振興部（〒958-8585 新潟県村上市田端町6-25）

令和8年3月23日 印刷
令和8年3月23日 発行

新潟県森林研究所研究報告 第66号

発行 新潟県森林研究所

新潟県村上市鶴渡路2249-5
〒958-0264 ☎0254(72)1171
FAX 0254(72)0019

発行 村上印刷(株)

新潟県村上市仲間町491-32
〒958-0823 ☎0254(52)2201

