

ISSN 0388-8150

# 石川県農林総合研究センター 林業試験場研究報告

No. 54

石川県農林総合研究センター林業試験場

2023. 3

# 石川県農林総合研究センター林業試験場研究報告 No. 54 目次

<https://www.pref.ishikawa.lg.jp/ringyo/science/public/kh/index.html>

## 【論文】

- 1 石川県南加賀地域における航空機 LiDAR を利用した林分材積表の作成の検討  
向野峻平・矢田 豊・小谷二郎
- 8 放置竹林の整備が植生回復に与える影響  
小谷二郎・向野峻平・富沢裕子
- 14 カラスザンショウから抽出される香気成分の利用可能性の検討（Ⅱ）—当年シュートについて—  
富沢裕子・笹木哲也・渥美幸大・大本健太郎・向野峻平・矢田 豊
- 20 スギ心持ち平角乾燥材における含水率および内部割れの材長方向分布  
松元 浩・石田洋二・村野朋哉・小倉光貴

## 【短報】

- 25 流出量観測データは流域特性をどのように反映しているのだろうか？—石川県林業試験場森林理水試験地における観測データと他地域試験流域のデータとの比較—  
高瀬恵次・小倉 晃
- 29 石川県産少花粉スギ着花促進のためのジベレリン処理の時期と回数—第1報—  
小倉 晃
- 31 抵抗性クロマツ採種園において球果を加害するマエジロクロマダラメイガの出現  
江崎功二郎
- 33 能登地域において原木シイタケを加害するキノコバエ3種  
山崎美佳・江崎功二郎



# 石川県南加賀地域における航空機 LiDAR を利用した林分材積表の作成の検討

向野峻平・矢田 豊・小谷二郎

Jクレジット制度の申請の際に使用する林分材積表について、最新かつ、高齢級の様々な林分を含んだものの作成が求められている。本研究では、航空機 LiDAR データを用いた「石川県林分材積表」の作成が可能であるかの検討をするため、石川県南加賀地域に限定した「石川県南加賀地域スギ林分材積表」を作成し、既存のものと比較した。その結果、航空機 LiDAR データを用いて作成した材積表は既存のものとは比べ、高齢になるほど材積が過少評価する傾向がみられた。これは、立木密度の推定に利用した標準地調査が、上層木のみを対象としていたためだと考えられた。このことから、標準地調査の対象木を全立木にすることで、林分材積表の作成は可能であると考えられる。

キーワード：LiDAR、林分材積表、スギ、密度管理図、地位指数曲線

## I. はじめに

現在、石川県の人工林の約7割が主伐期を迎えており（石川県 2021）、木材の収穫量や収支を見積もるため、林分の材積量を把握することが重要になっている。このような中、航空機 LiDAR による森林資源情報の調査に注目が集まっており、石川県でも令和2年度より航空機 LiDAR による森林資源情報等の調査を行っている。

一方、近年活用事例が増えている Jクレジット制度では、申請に必要な幹材積量や幹材積成長量を林分材積表等から引用する際に、地位の特定のための実地踏査が必要だったが、令和3年度の Jクレジット制度の改定により、航空機 LiDAR による地位の特定も認められるようになった（Jクレジット制度事務局 2022）。これにより石川県では、航空機 LiDAR を用いて Jクレジット制度への申請を検討している。一方、石川県で現在使用してい

るスギ林分材積表は 2006 年に作成されたものであり、100 年生までしか記載していない（以下、既存材積表とする；石川県内部資料 2006）。また、より高齢級の様々な林分や樹種を含んだ林分材積表の作成が求められている。そこで、航空機 LiDAR データを用いた新しい「石川県林分材積表」の作成が可能であるか検討した。

本研究では、「石川県林分材積表」を作成するための予備的な検討として、2021 年に航空機 LiDAR で計測を行った石川県南加賀地域に限定し、航空機 LiDAR データを用いた「石川県南加賀地域スギ林分材積表」を作成し、既存材積表と比較した。

林分材積表の作成では、1980 年代前半に多くの県の林分材積表の作成で用いられた林分密度管理図（以下、密度管理図とする；例えば山本・安井 1983；家原 1990；猪瀬ら 1993）に基づく作成方法が主として用いられてきた。これは上層木平均樹高と立木本数を密度管理図の諸式に適用して、林分材積を定める方法であり、既存材積表もこの方法で作成されている。しかし、密度管理図は標準的な伐期を超える林分に適用するには問題が生じる可能性や、広範囲の地域を対象として作成されているため、地域によっては不適合が生じる可能性もある（長濱・近藤 2006）。これらのことから本研究では、密度管理図に基づく作成法の適用の妥当性も検討した。本研究で林分材積表を作成するに当たっての手順を図-1 に示す。

一方、白井・坂井（1995）が行った、林分因子の相互関係を用いて林分幹材積を求める事例が増えており、近年では、三重県（島田 2010）、広島県（佐野 2022）等がこの方法を用いて林分材積表の作成を行っている。これは林齢と上層木樹高との関係を求め、順次平均樹高と平均直径、平均直

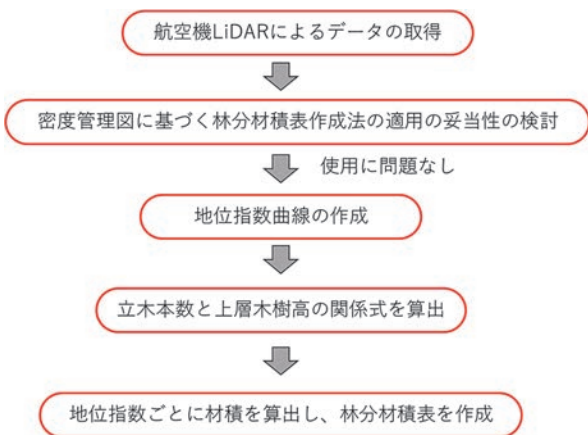


図-1. 林分材積表作成のフロー

径と立木本数、平均直径と平均幹材積の関係式を求め、最後に立木本数と平均幹材積から林分幹材積を求める方法である。航空機 LiDAR は上空から補足できる個体のみ計測するため、下層木を含めた林分の平均樹高を算出するのは難しい。そのため、本研究ではこの方法での林分材積表の作成は行わなかった。



図-2. 調査範囲（石川県南加賀地域）

## II. 材料と方法

### 1. 使用データ

2021年に石川県が朝日航洋株式会社に航空機 LiDAR の計測を委託整備した石川県南加賀地域（図-2）の全林分データを利用した（以下、航空機 LiDAR 委託調査）。また、その林分データの中でスギ人工林を対象に、3 齢級～30 齢級の 220 林分をランダムに抽出し、上層木樹高データを利用した。なお、林齢は森林簿のデータを参照した。

密度管理図に基づく作成法の適用妥当性の検討、及び立木密度のデータは、航空機 LiDAR 委託調査における精度検証をするための、29 地点のスギ林分現地調査データ（400 m<sup>2</sup>の標準地）を利用した。

### 2. 密度管理図に基づく作成法の適用妥当性の検討

現地調査データの実測材積と、航空機 LiDAR で同林分の上層木樹高および現地調査データの立木密度を「裏東北・北陸地方スギ林分密度管理図（林野庁 1978）」の(1)式を用いて算出した推定材積  $V'$  を比較し、密度管理図に基づく作成法の適用妥当性の検討を行った。実測材積  $V$  は、各個体の樹高と胸高直径から、立木材積表西日本編（林野庁

1970）に記載された材積式を用いて単木の材積を算出した。

$$V' = (0.060047H^{-1.352337} + \frac{3743.3H^{-2.824828}}{N})^{-1} \quad (1)$$

$V'$  : 推定材積 (m<sup>3</sup>/ha)     $H$  : 上層木平均樹高 (m)  
 $N$  : 立木密度 (本/ha)

推定精度の検証は、島田(2010)の手法を参考にし、各林分データの実測材積  $V$  と推定材積  $V'$  との誤差率を求め、その値が許容誤差内にあるかどうかの検証を行った。具体的には許容誤差率  $E$  の  $\chi^2$  値を(2)式で、危険率 5% の  $\chi^2$  値  $\chi(0.05)^2$  を(3)式で計算し、両者の有意差を検定した。

$$\chi^2 = \frac{1}{E^2} \sum \left[ \frac{V' - V}{V} \right]^2 \quad (2)$$

$$\chi_{0.05[v]}^2 = \frac{1}{2} (t_{0.10[v]} + \sqrt{2n - 1})^2 \quad (3)$$

$n$  : データ数     $v$  : 自由度     $E$  : 許容誤差率 20%  
 $t_{0.10[v]}$  : Student の  $t$  分布の棄却域

### 3. 地位指数曲線の作成

地位指数曲線の作成は、林野庁(2022)に記載されている航空機 LiDAR データを用いた作成法により行った。予備的な検討の結果、地位指数曲線のガイドカーブは以下に示すリチャーズの成長曲線式(4)式を採用した。

$$H = K \times (1 - \exp(-A \times t))^B \quad (4)$$

$H$  : 林齢  $t$  における上層木平均樹高 (m)  
 $K, A, B$  : 係数     $t$  : 林齢 (年)

成長曲線式の当てはめは、Microsoft Excel2016 のソルバーGRG 非線形回帰法により行った。

地位の区分は、利便性を考慮して、相対的樹高地位と絶対的樹高地位を同時に採用し、両者の対応関係を示すこととした。

相対的樹高地位は、山田・村松(1971)の方法に従い分布範囲を決定した。まず、(5)式で平均偏差率  $\delta$  を求め、(6)式によりガイドカーブと同じ形状となり、全標本の 95% 以上が範囲に収まるように上下の界線を定めた。その後、地位の区分を 3 区分して上から地位 I、地位 II、地位 III とした。

$$\delta = \frac{1}{N} \sum \left| \frac{y - y'}{y'} \right| \quad (5)$$

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

$\delta$  : 平均偏差率     $N$  : データ数     $y$  : 上層木樹高の

実数値  $y'$  : 推定値 (対応するガイドカーブ上の値)  $m$  : 平均偏差率の倍数

絶対的樹高地位は、本研究では基準林齢を 80 年に設定し、基準林齢における上層木樹高を地位指数とした。ガイドカーブと同じ形状になるように各地位指数曲線を (7) 式により決定した。

$$H = H_x \times \frac{SI}{H_{80}} \quad (7)$$

$H$  : 地位指数  $SI$  における曲線上の  $x$  年における上層木平均樹高  $H_x$  : ガイドカーブ上の  $x$  年における上層木平均樹高  $H_{80}$  : ガイドカーブ上の基準年齢における上層木平均樹高

#### 4. 上層木平均樹高と立木密度の関係式の推定

航空機 LiDAR 委託調査の結果、立木密度の平均誤差率は-18%となっており、過小評価する傾向にあった。このことから、本研究では現地調査で測定した上層木平均樹高と立木密度の関係式を求め、立木密度の推定を行った。

#### 5. 林分材積表の作成

作成した地位指数曲線から推定した林齢毎の上層木樹高と立木密度の関係式を用いて、上層木樹高に対する立木密度を推定した。その後、推定した上層木樹高と立木密度を、(1) 式に当てはめて材積の推定を行った。

### III. 結果

#### 1. 密度管理図に基づく作成法の適用妥当性の検討

実測材積  $V$  と推定材積  $V'$  の関係を図-3 に示す。図-3 から 1,000  $m^3$  以上の推定材積  $V'$  が実測材積  $V$  より過小に算出する傾向が読み取れるが、誤差率を求め、その値が許容誤差内にあるかどうかの検定を行った結果、有意差が確認されず、許容誤差を超える誤差は生じていなかった (表-1)。

この結果を受け、本研究では、密度管理図に基づく林分材積表の作成には問題がないとし、この方法を採用した。

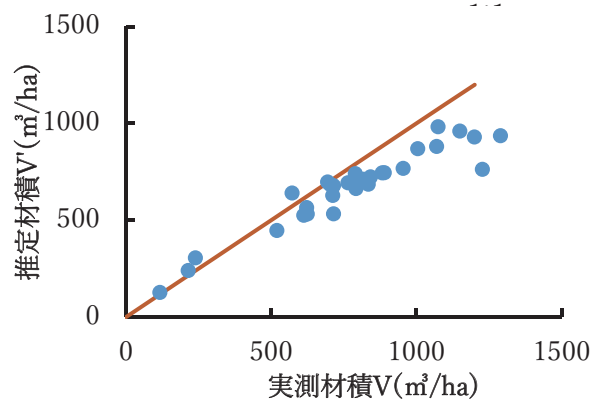


図-3. 実測材積  $V$  と推定材積  $V'$  の関係

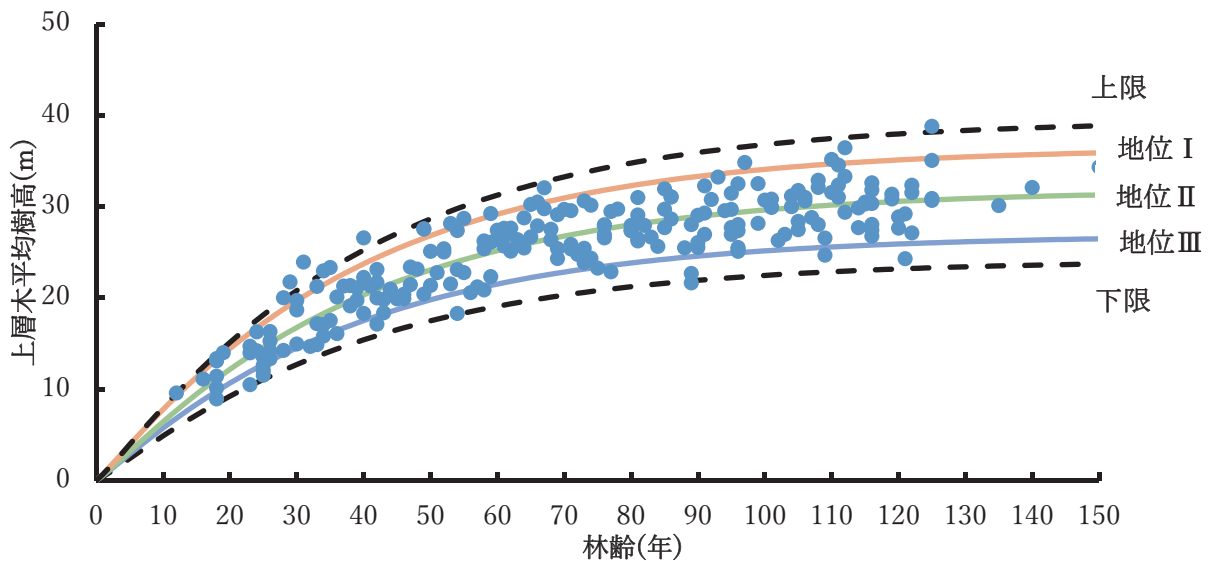


図-4. ガイドカーブ及び相対的樹高地位の区分

表-1. 密度管理図の推定精度の検証結果

実測材積 (m)	データ 数	許容誤差率Eの		検定※
		$\chi^2$ 二乗値	危険率5%の $\chi^2$ 乗値	
0~500	3	2.33	13.29	ns
500~1000	19	9.13	30.51	ns
1000~	7	8.85	15.39	ns
全体	29	20.31	42.75	ns

\*ns は危険率 5% で有意差がないことを示す。

## 2. 樹高成長曲線

成長曲線式の当てはめを行った結果、ガイドカーブの(8)式が求められた。

$$H = 31.67(1 - \exp(-0.0283 \times t))^{1.10} \quad (8)$$

H: 林齢 t における上層木樹高 t: 林齢

(4)式、(5)式から、 $m=2.5$  とするとき分布の95%以上を含むことから、分布の上下限の m を ± 2.50000 とした。地位区分 I、II、III の中心曲線式の m はそれぞれ +1.66667、+1.00000 (ガイドカーブ)、-1.6667 とした (図-4)。

また、地位指数曲線を作成した結果、図-5 のようになった。地位指数曲線と相対的地位区分 I の範囲内に地位指数曲線 30~34、地位区分 II の範囲内地位指数曲線に 26~30 未満、地位区分 III の範囲内に 22~26 未満が含まれた。

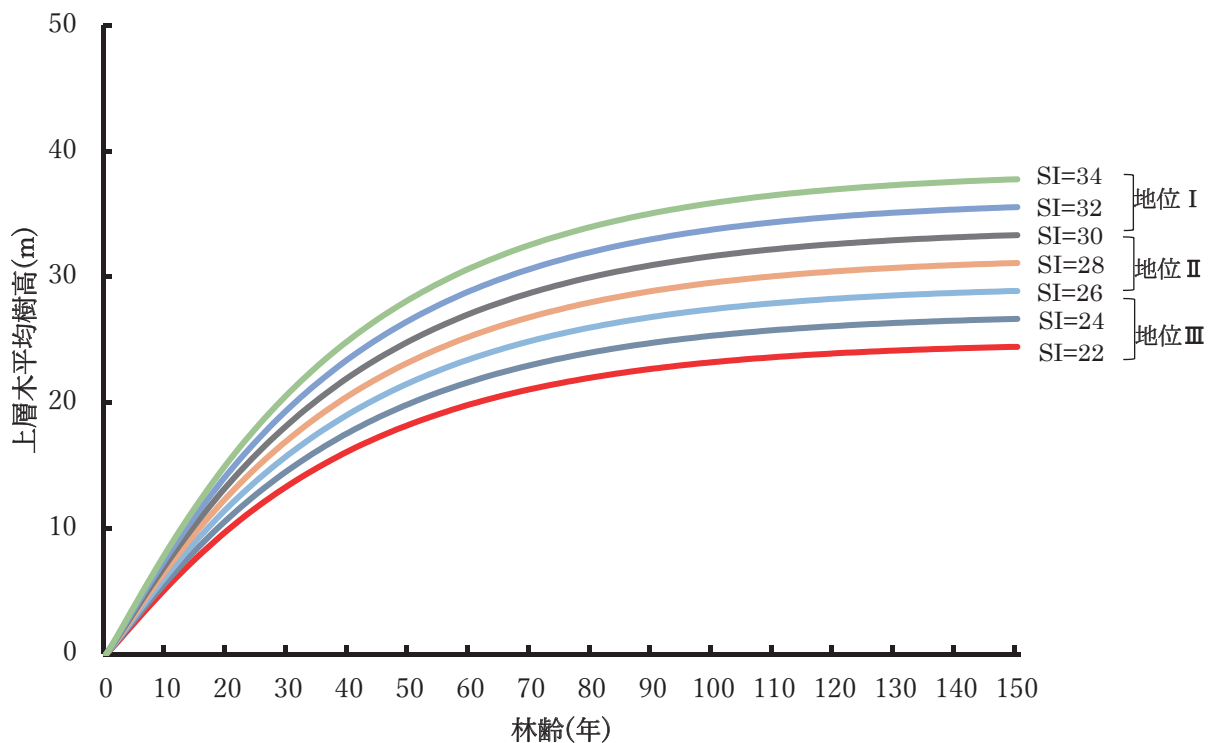


図-5. 地位指数曲線及び絶対的樹高地位と相対的樹高地位の対応

## 3. 上層木平均樹高と密度の関係式

上層木平均樹高と立木密度の関係式を推定した結果、以下の(9)式が求められた (図-6)。

$$N = 3942.2 \times e^{-0.073 \times H} \quad (9)$$

N: 立木本数(本/ha) H: 上層木平均樹高(m)

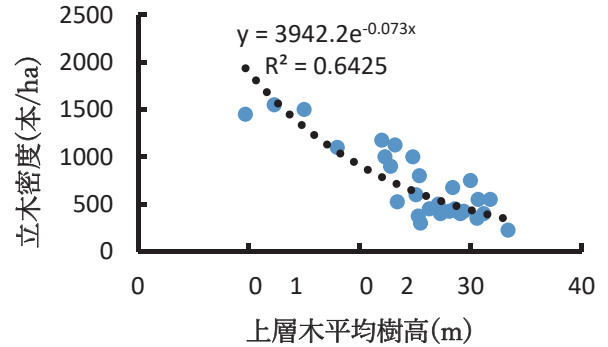


図-6. 上層木樹高と立木密度の関係式

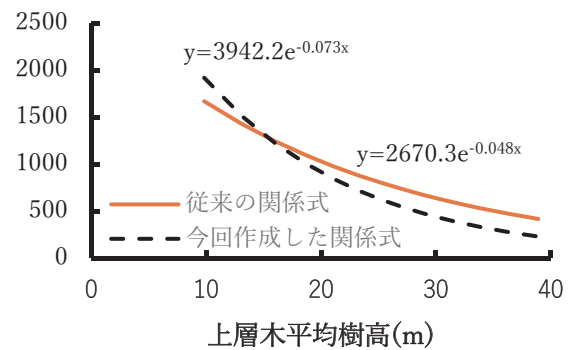


図-7. 従来関係式と今回作成した関係式の



図-7 は、今回作成した樹高と密度の関係式と、既存材積表作成の際に使用した関係式を重ねたものである。従来関係式より、今回作成した関係式は上層木平均樹高が高くなるにつれて密度が低くなる傾向が認められた。

#### 4. 林分材積表

地位指数曲線から、地位ごと、林齢ごとの上層木平均樹高を求めた。その上層木平均樹高と、(9)式で求めた密度を(1)式に当てはめて材積の推定をした。

これらの計算結果をまとめて、「石川県南加賀地域スギ林分材積表」(表-2)を地位ごとに示した。また、比較のため既存材積表を横に示す。(表-3)

### IV. 考察

今回作成した「石川県南加賀地域スギ林分材積表」(表-2)を既存材積表(表-3)と比べた結果、高齢になるにつれて材積が過小評価される傾向が認められた。原因としては、従来の調査法と比べて、樹高が高くなるほど立木密度を過小評価しているためだと考えられる。これは、上層木平均樹高と立木密度の関係式の推定に利用した標準地調査の対象木が、航空機 LiDAR の計測の対象となる上層木のみとしていたためだと考えられる。

このことから、石川県全域でスギをはじめとするその他の樹種の林分材積表を作成する場合には、標準地調査をする際に下層木を含めた全立木を対象とし、航空機 LiDAR の調査結果を補正するための情報を得ることで、本手法による作成が可能であると考ええる。

### 謝辞

本研究は、石川県農林水産部森林管理課西田結也技師及び関係者各位にご協力いただいた。記して感謝の意を示す。

### 引用文献

- 家原敏郎(1990)大阪営林局管理内高齢級林の収穫予測(Ⅱ)-収穫予想表の作成-。日林関西支講 41: 215-218
- 石川県(2021)いしかわ森林・林業・木材産業振興ビジョン 2021。石川県
- 猪瀬光雄・佐野真・石橋聡(1993)密度管理図をもとにしたカラマツの収穫予想表。北方林業 45: 76-81

J クレジット制度事務局(2022)J クレジット制度について～森林管理プロジェクトを中心に～。

[https://japancredit.go.jp/data/pdf/credit\\_004.pdf](https://japancredit.go.jp/data/pdf/credit_004.pdf) (2023年3月25日参照)

小谷二郎・千木容(2006)立地環境要因によるスギ高齢林の地位指数および形質の推定。石川県林試県報 38: 16-20

長濱孝行・近藤洋史(2006)長伐期施業に対応した鹿児島県スギ人工林収穫予測。日林誌 88: 71-78

林野庁(1970)立木幹材積表西日本編。日本林業調査会

林野庁(1978)裏東北・北陸地方スギ林分密度管理図。日本森林技術協会

林野庁(2022)航空機 LiDAR データを使った地位指数分布図作成の手引き。林野庁

狭野俊和(2022)広島県のスギ・ヒノキ林現実林分収穫表の調整。広島県林技セ研報 43: 1-23

島田博匡(2010)三重県のスギ・ヒノキ林における長伐期施業に対応した林分収穫表の作成。三重県林業研報 2: 1-28

白石則彦・坂井康宏(1995)アカエゾマツ人工林の収穫予想表作成。北方林業 47(4): 4-7

山本茂夫・村松保男(1997)例解側樹の実務 再訂増補。地球社

山本充男・安井鈞(1983)島根県スギ人工収穫予想表 1. 林分密度管理図に基づく作成システム。山陰文研紀要 23: 55-69



表-2-1. 石川県南加賀地域スギ林分材積表  
地位区分 I

林齢年	上層樹高 m	本数 本/ha	林分材積 m <sup>3</sup> /ha
5	3.9	2963	28
10	7.8	2233	113
15	11.3	1726	220
20	14.5	1372	327
25	17.2	1120	425
30	19.7	936	513
35	21.8	800	589
40	23.7	697	654
45	25.4	618	709
50	26.8	557	756
55	28.1	508	795
60	29.2	469	827
65	30.1	438	855
70	30.9	412	878
75	31.7	391	897
80	32.3	373	914
85	32.8	359	928
90	33.3	347	939
95	33.7	336	949
100	34.1	328	958
105	34.4	320	965
110	34.7	314	971
115	34.9	309	977
120	35.1	304	981
125	35.3	300	985
130	35.4	297	988
135	35.6	294	991
140	35.7	291	994
145	35.8	289	996
150	35.9	287	998

表-3-1. 既存材積表\*  
地位区分 I

林齢年	上層樹高 m	本数 本/ha	林分材積 m <sup>3</sup> /ha
5	5.5	2051	49
10	8.7	1762	127
15	11.6	1534	220
20	14.3	1354	316
25	16.7	1208	411
30	18.8	1090	501
35	20.8	993	586
40	22.6	912	665
45	24.2	844	738
50	25.7	788	804
55	27.0	739	865
60	28.2	698	920
65	29.3	662	971
70	30.3	632	1016
75	31.2	605	1057
80	32.0	582	1095
85	32.7	562	1129
90	33.4	544	1159
95	34.0	529	1187
100	34.6	515	1212
105	35.1	503	1234
110	35.5	492	1255
115	36.0	482	1273
120	36.3	474	1290
125	36.7	466	1305
130	37.0	459	1319
135	37.3	453	1331
140	37.5	448	1342
145	37.7	443	1352
150	38.0	438	1361

表-2-2. 石川県南加賀地域スギ林分材積表  
地位区分 II

林齢年	上層樹高 m	本数 本/ha	林分材積 m <sup>3</sup> /ha
5	3.4	3076	20
10	6.8	2405	87
15	9.8	1924	173
20	12.6	1576	261
25	15.0	1321	345
30	17.1	1130	421
35	19.0	986	488
40	20.6	875	546
45	22.0	788	596
50	23.3	720	639
55	24.4	665	676
60	25.3	620	708
65	26.2	584	735
70	26.9	554	758
75	27.5	529	778
80	28.1	508	794
85	28.5	491	809
90	28.9	477	821
95	29.3	464	832
100	29.6	454	841
105	29.9	445	848
110	30.1	437	855
115	30.3	431	861
120	30.5	425	866
125	30.7	421	870
130	30.8	417	874
135	30.9	413	877
140	31.0	410	880
145	31.1	407	882
150	31.2	405	884

表-3-2. 既存材積表\*  
地位区分 II

林齢年	上層樹高 m	本数 本/ha	林分材積 m <sup>3</sup> /ha
5	4.9	2120	36
10	7.6	1856	97
15	10.2	1644	171
20	12.5	1474	250
25	14.6	1334	328
30	16.5	1219	403
35	18.2	1124	474
40	19.7	1043	541
45	21.2	975	603
50	22.4	917	660
55	23.6	868	712
60	24.7	825	759
65	25.6	789	803
70	26.5	757	843
75	27.3	729	879
80	28.0	704	912
85	28.6	683	941
90	29.2	664	968
95	29.8	647	993
100	30.3	632	1015
105	30.7	619	1035
110	31.1	608	1054
115	31.5	597	1070
120	31.8	588	1085
125	32.1	580	1099
130	32.4	572	1111
135	32.6	566	1122
140	32.8	560	1132
145	33.0	554	1141
150	33.2	550	1150

\*石川県内部資料より引用

表-2-3. 石川県南加賀地域スギ林分材積表

地位区分Ⅲ

林齢年	上層樹高 m	本数 本/ha	林分材積 m <sup>3</sup> /ha
5	2.9	3193	14
10	5.7	2591	63
15	8.3	2144	129
20	10.7	1809	199
25	12.7	1558	267
30	14.5	1365	329
35	16.1	1216	385
40	17.5	1098	435
45	18.7	1005	478
50	19.8	930	516
55	20.7	869	549
60	21.5	820	577
65	22.2	779	602
70	22.8	745	623
75	23.4	716	642
80	23.8	693	657
85	24.2	672	671
90	24.6	656	683
95	24.9	641	693
100	25.1	629	702
105	25.4	618	709
110	25.6	609	716
115	25.7	602	721
120	25.9	595	726
125	26.0	590	731
130	26.1	585	734
135	26.2	580	737
140	26.3	577	740
145	26.4	574	743
150	26.5	571	745

表-3-3. 既存材積表\*  
地位区分Ⅲ

林齢年	上層樹高 m	本数 本/ha	林分材積 m <sup>3</sup> /ha
5	4.2	2191	25
10	6.6	1955	71
15	8.7	1762	127
20	10.7	1604	188
25	12.5	1473	250
30	14.1	1364	310
35	15.6	1271	368
40	16.9	1193	422
45	18.1	1126	472
50	19.2	1069	519
55	20.2	1019	562
60	21.1	976	602
65	22.0	939	638
70	22.7	906	671
75	23.4	877	702
80	24.0	852	729
85	24.6	830	755
90	25.1	810	777
95	25.5	793	798
100	25.9	777	817
105	26.3	763	834
110	26.7	751	850
115	27.0	740	864
120	27.2	730	877
125	27.5	721	889
130	27.7	713	899
135	27.9	706	909
140	28.1	700	918
145	28.3	694	926
150	28.5	689	933

## 放置竹林の整備が植生回復に与える影響

小谷二郎・向野峻平・富沢裕子

放置された竹林の伐採とその後再生する竹の刈り払いによる整備が、植生回復に与える影響を5年間追跡調査した。整備後、竹林はほとんどの箇所ですべて衰退傾向にあった。再生竹の本数は侵入竹林整備地よりも多い傾向にあったが、樹高はあまり変わらなかった。一方、更新広葉樹は、侵入竹林整備地に比べ、種数、本数とも少ない傾向がみられたが、樹高が高い傾向がみられ広葉樹林への回復が速いことが示唆された。多種多様な広葉樹の樹種構成だったが、パイオニア種の生存本数が多い傾向がみられた。下層植生の被度は95%まで回復し、公益的機能の回復も順調と考えられた。

キーワード：広葉樹、再生竹刈り払い、植生回復、放置竹林整備

### I. はじめに

モウソウチク等の放置竹林が針葉樹人工林等周辺森林や農地へ侵入拡大していることが問題となり（鳥居・井鷲 1997；鳥居 2006）、現在、公的な資金を使って整備が進められている（たとえば、いしかわ森林環境基金事業）。周辺地域の森林や農地への竹の侵入拡大を防ぐためには、侵入の先端部での整備に加えて、その発生源となっている林分での放置された竹林の整備が必要である。しかも、竹は地中で栄養繁殖するために、親竹の伐採のみでは再生竹によってまた元の竹林へ回復してしまうため、竹を完全に絶やすためには、数年間の再生竹の刈り払いが必要である（石田ら 1999；藤井ら 2005、2008；鈴木ら 2008）。石川県では平

成 24 年からの「第二期いしかわ森林環境基金事業」での針葉樹人工林へ侵入した竹林（以下、侵入竹林）の整備に加え、平成 29 年からの「第三期いしかわ森林環境基金事業」において、発生源となっている竹林（以下、放置竹林）の整備も行っている。侵入竹林では、整備後の機能の回復状況を検証するために植生回復のモニタリング調査を行い（小谷 2018）、放置竹林においても同様に整備後の植生回復のモニタリング調査を行っている。

侵入竹林の整備跡地では、親竹の伐採後 2 年間の再生竹の刈り払いで、竹の本数や樹高は刈り払い直後に減少したものの、徐々に増加する傾向がみられた（小谷 2018）。一方、更新広葉樹は、種数・本数ともに伐採後に急激に増加した後 3~4 年

表-1. 調査した放置竹林整備跡地の整備前の概要

No	場所 市町 字	標高 (m)	方位	傾斜 (°)	親竹		
					生竹(本/ha)	枯竹(本/ha)	直径(cm)
1	加賀市 黒瀬	27	W	15	7,500	500	11.1
2	能美市 灯台笹1	102	NW	20	6,400	500	12.2
3	能美市 灯台笹2	112	W	5	6,400	500	9.6
4	白山市 月橋1	93	S	30	7,800	1,100	11.1
5	白山市 月橋2	125	SW	25	3,700	400	9.6
6	かほく市 気屋	67	E	20	8,000	200	12.6
7	津幡町 七黒	45	N	30	7,900	800	12.5
8	津幡町 浅田	29	N	0	9,000	500	13.6
9	津幡町 平野	75	SE	30	12,000	700	12.1
10	金沢市 北千石	90	SE	0	10,400	1,600	10.0
11	宝達志水町 森本	30	W	10	11,400	1,500	8.5
12	羽咋市 鹿島路	26	SE	30	6,400	600	14.7
13	志賀町 田原	42	NE	20	7,200	700	10.0
14	志賀町 谷神	103	E	5	7,300	500	12.3
15	七尾市 池崎	18	SW	5	9,200	2,300	10.6
16	穴水町 曾山	119	SE	15	5,400	0	12.1
17	能登町 五十里	125	SE	20	4,700	1,000	8.2
18	能登町 猪平	105	SW	5	7,600	1,200	11.0
19	能登町 秋吉	25	W	25	12,100	600	9.5
20	珠洲市 春日野	55	E	20	11,700	1,300	13.1

Kodani J, Mukono S, Tomisawa H (2023) Effects of cutting and weeding of abandoned bamboo forests on vegetation recovery

目以降はほぼ横ばいで推移したが、樹高は継続して増加傾向を示していた（小谷 2018）。また、下層植生の被度も増加傾向であった（小谷 2018）。このことから、侵入竹林の整備では竹の勢いを完璧に減衰させることはできなかったものの、広葉樹の更新や林床の植生回復は達成できたと考えられる。

そこで、放置竹林での整備が植生回復にどのような影響があったかを検証するため、県内20か所の当事業によるモニタリング調査地において、親竹の伐採とその後の再生竹の刈り払いが植生回復に及ぼす影響を5年間調査したので報告する。

## II. 調査地および調査方法

調査は、石川県内20か所の放置竹林整備跡地である（表-1）。この事業では、1年目に親竹を伐採し2～3年目は再生竹を刈り払っている。ただし、20か所のうち6か所においては事業終了後の翌年にも刈り払いを行っていた。

2017年秋、それぞれの整備跡地の標準的な立地条件の箇所に10m×10mの固定プロットを1か所設けた。プロット内では、再生竹および識別の可能な実生の段階から高木性広葉樹の本数と高さを調査した。

調査方法として、プロット内を2mメッシュ（合計25枠）に区切り、メッシュごとに竹および樹種別の本数と最大樹高を測定した。さらに10m×10mのプロット内に1m×1mの小プロットを5か所（原則として、中心と4隅）設け、植生被度とA<sub>0</sub>層の被覆率を求めた。小プロットでは地上部1.5mの高さで魚眼レンズを用いて全天空写真を撮影（Coolpix4500 & Fisheye Converter FC-E8、0.21X、Nikon社）し、光環境を把握した。光環境は、撮影した写真から既存の全天空写真解析プログラムCanopOn 2（竹中 2009）を使って開空度として求めた。調査は、2017～2021年の秋に行った。

広葉樹の更新状況の解析方法として、2018年（親竹伐採2年後）および2021年（親竹伐採5年後）の更新広葉樹の種数、本数に關係する要因を分析するために、一般化線形混合モデル（GLMM）を作成した。2018年の広葉樹の種数と本数を目的変数にした場合は、親竹密度、親竹の平均直径、親竹伐採直後（2017年）の開空度を説明変数に用い、ランダム効果には調査地を指定した。また、2021年の広葉樹の種数、本数を目的変数とした場合は、

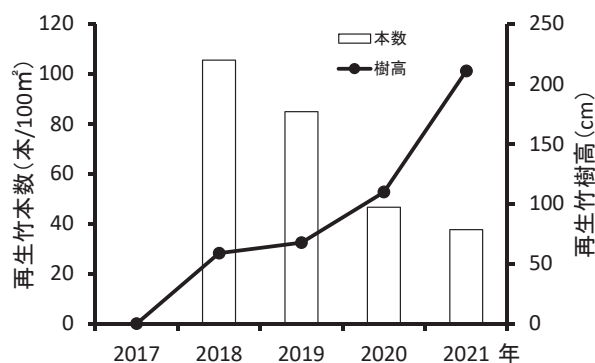


図-1. 再生竹の平均本数と平均樹高の推移

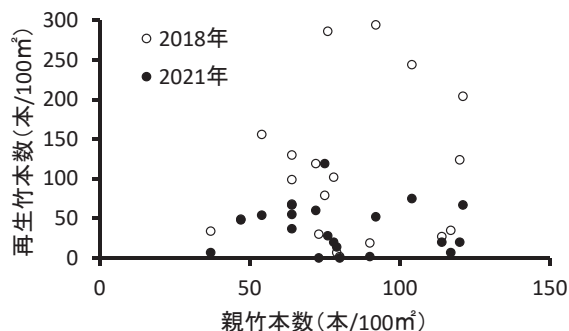


図-2. 親竹本数と再生竹本数の関係

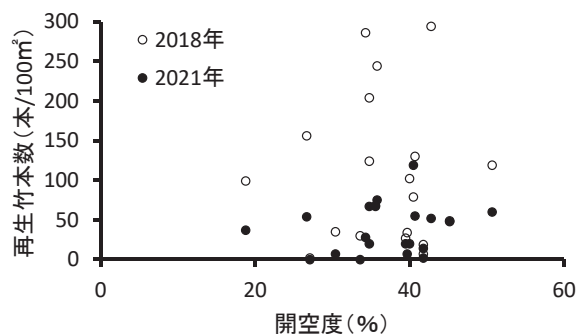


図-3. 2017年の開空度と再生竹本数の関係

2017年の開空度のほか、2021年の再生竹の本数と平均樹高、および3年目の刈り払いの有無を説明変数に用い、ランダム効果には調査地を指定した。これらの解析には、R (Core Team 2023) を用いて、glmer 関数 (package "lme4" : Bates et al. 2023) によってモデルを作成した。

## III. 結果

### 1. 再生竹の本数と樹高の推移

図-1は、2017～2021年までの全20か所の再生竹の平均本数と平均樹高の推移である。2017年には親竹の伐採時期がほとんど秋以降であったので、再生竹は未発生であった。再生竹の本数は、2018年に最多(109本)となったのち徐々に減少傾向を示した(2021年: 38本)。樹高は2019年(刈り払い

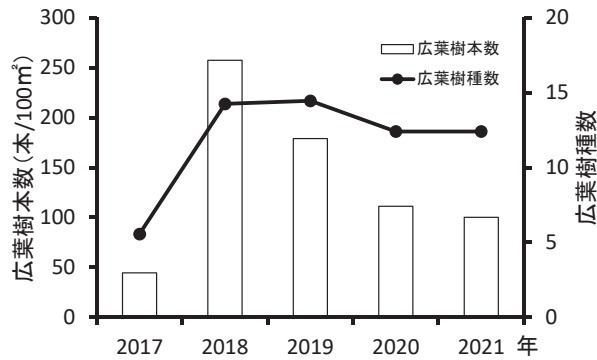


図-4. 更新広葉樹の平均種数と平均本数の推移

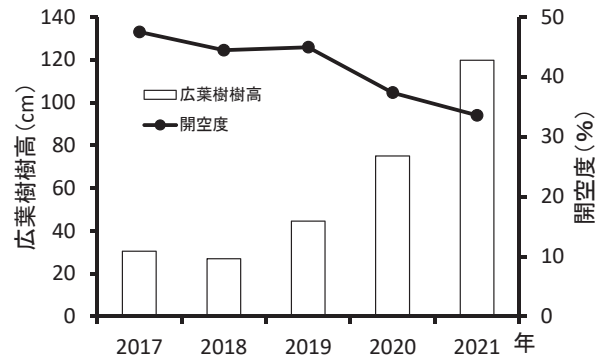


図-6. 平均開空度と広葉樹の平均樹高の推移

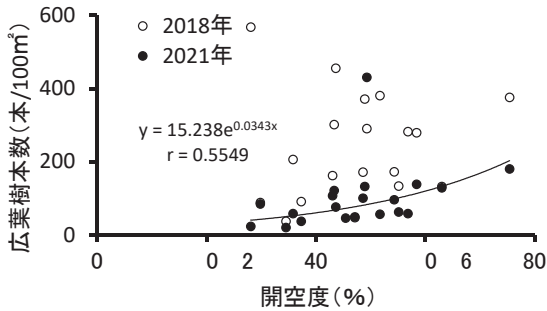


図-5. 2017年の開空度と広葉樹の本数の関係

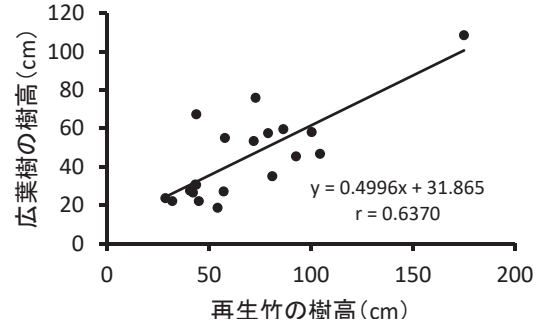


図-7. 竹の平均樹高と広葉樹の平均樹高の関係

2回目)に1度頭打ちになったが、その後増加傾向を示した(2021年:210cm)。場所ごとに、親竹(生竹)の本数と再生竹の本数の関係(図-2)を調べ

たところ、どちらも相関関係はみられなかった( $p>0.05$ )。2018年は2021年に比べばらつきが大きく、親竹本数の多いところで再生竹本数の多い場

表-2. 高木広葉樹の樹種構成の変化

No	樹種	伐採年(2017年)			1年後(2018年)			5年後(2021年)		
		出現頻度 (%)	平均本数 (本/ha)	平均樹高 (cm)	出現頻度 (%)	平均本数 (本/ha)	平均樹高 (cm)	出現頻度 (%)	平均本数 (本/ha)	平均樹高 (cm)
1	アカメガシワ				100	8,025	28.5	85	2,055	160.8
2	シロダモ	100	2,145	12.4	95	1,700	22.7	85	1,830	61.3
3	ウワミズザクラ	30	460	19.9	55	885	39.0	65	635	204.9
4	ヤブツバキ	60	445	20.2	60	530	29.4	60	615	66.1
5	クマノミズキ				90	585	20.9	70	595	156.3
6	エノキ	20	70	38.4	60	640	22.2	55	525	113.7
7	ヤマザクラ	30	55	29.4	85	650	24.9	85	510	166.2
8	アオハダ	25	90	28.2	50	295	24.9	45	385	119.5
9	カラスザンショウ				100	7,825	26.9	65	385	177.8
10	ケヤキ	30	65	13.2	50	280	27.7	35	365	50.5
11	イイギリ				30	1,310	14.3	20	190	168.2
12	ヤマグワ	5	25	8.8	30	185	37.0	30	180	115.5
13	ウラジロガシ	35	250	24.9	30	255	56.1	20	175	105.6
14	モチノキ	35	155	34.8	30	215	43.2	30	175	93.0
15	コシアブラ	30	380	9.3	40	450	25.3	20	140	103.0
16	コナラ	30	175	10.9	25	235	22.7	35	135	104.9
17	ミズキ	10	25	7.8	35	165	22.3	45	100	87.8
18	ネムノキ				55	365	15.3	50	90	80.1
19	アワブキ	10	15	11.7	30	60	36.5	40	80	132.4
20	キリ				50	565	22.5	25	80	226.5
21	オニグルミ				30	60	31.4	30	70	111.2
22	ケンポナシ	5	85	1.3	5	50	21.5	20	70	84.3
23	クリ	10	30	16.5	30	155	25.4	30	65	186.1
24	ホオノキ	15	20	24.0	45	70	14.2	30	65	143.7
25	アカシデ				5	5	4.0	5	60	60.0
26	コブシ				10	30	17.2	15	60	99.0
27	ネズミモチ	15	30	22.8	10	45	30.7	10	55	128.8
28	ハリギリ				20	125	17.1	5	55	90.0
29	タブノキ	5	25	13.0	10	45	18.4	25	45	64.0
30	ニガキ	5	5	35.0	15	115	26.5	5	45	91.0

全45種のうち、2021年に本数の多かった上位30種で示している。



合がみられた。また、2017年の開空度と2018年および2021年の再生竹本数の関係でも相関関係はみられなかった(図-3:  $p>0.05$ )。2018年ではばらつきが大きかったのに対し、2021年では全体に本数が減少し開空度による差は小さい傾向がみられた。

## 2. 広葉樹の種数と本数の推移

プロット内に出現した高木広葉樹の平均種数と平均本数の推移を図-4に示す。平均種数は2017年に5.6種であったのが2018年に14.3種に急増(約2.6倍)したのち2021年には12.4種(2018年から約13.3%減)と横ばいないしはやや減少傾向となった。平均本数は2017年に44.5本/100m<sup>2</sup>であったのが2018年に257.4本/100m<sup>2</sup>に急増(約5.8倍)した後、一転して減少傾向を示し2021年には100.1本/100m<sup>2</sup>となった(2018年から61.1%減少)。2018年の種数または本数を目的変数とし、親竹の本数や直径および2017年の開空度を説明変数とする関係性をGLMMで解析した結果、種数ではどの要因でも有意な関係性はみられなかった( $p>0.05$ )が、本数では親竹本数と開空度が正の、親竹直径が負の、それぞれ有意な関係がみられた( $p<0.05$ )。一方、2021年の種数または本数を目的変数とし、2017年の開空度、2021年の再生竹の本数、再生竹の樹高、3回目の刈り払いの有無を説明変数とするGLMMで解析した結果、種数では再生竹の樹高および3回目の刈り払いの有りで負の関係がみられ、本数では開空度が正の、竹の本数と3回目の刈り払い有りが負の、それぞれ有意な関係性を示した( $p<0.05$ )。2017年の開空度と2018年および2021年の本数との関係を見ると、2018年ではばらつきが大きく相関関係がみられなかった( $p>0.05$ )のに対し、2021年では有意な相関関係がみられた(図-5;  $p<0.05$ )。

## 3. 広葉樹の樹高と光環境の推移

図-6は、高木広葉樹の平均樹高と平均開空度の経年変化を示している。平均開空度は整備直後48%であったのが徐々に減少し5年後には33%となったのに対し、平均樹高は、2018年に1度減少したのち一貫して上昇傾向を示した(2021年:120cm)。開空度と広葉樹の平均樹高の間にはどの年においても有意な相関関係はみられなかった( $p>0.05$ )。

2018~2021年での竹の平均樹高と広葉樹の平均樹高の関係をみると、2018~2020年までは両者に有意な正の相関関係が認められた(図-7(たとえば、2019年):  $p<0.05$ )。しかしながら、2021年では相関関係がみられなかった( $p>0.05$ )。

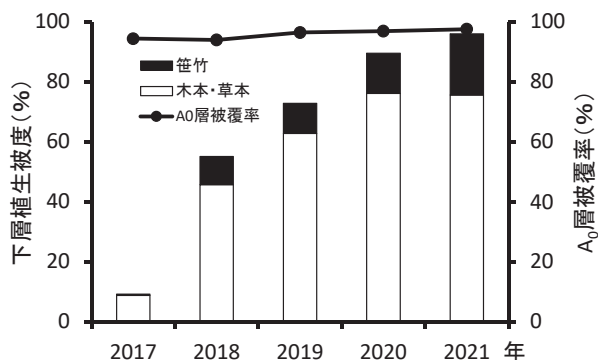


図-8. 平均植生被度と平均 A<sub>0</sub>層被覆率の推移

## 4. 広葉樹の樹種構成の推移

表-2は、2017年(親竹伐採直後)、2018年(親竹伐採翌年)および2021年での高木広葉樹の出現頻度、平均本数および平均樹高を全出現種数45種のうち2021年に本数の多かった上位30種で示している。2017年には、伐採前から出現していたとみられるシロダモ、ヤブツバキ、ウラジロガシといった常緑広葉樹のほか、ウワミズザクラやコシアブラなどの出現頻度が高く本数が多い傾向がみられた。それに対し、伐採翌年(2018年)にはアカメガシワ、カラスザンショウ、イイギリ、ネムノキなど、伐採前にはみられなかった、いわゆるパイオニア樹種が急激に増加した。2021年には、アカメガシワ、カラスザンショウ、イイギリなどは2018年の2割以下に減少したものの、依然として本数は上位を占めていた。また、キリ、ウワミズザクラ、クリ、カラスザンショウ、ヤマザクラ、アカメガシワなどが樹高の上位を占めた。伐採前から存在していたシロダモ、ウワミズザクラ、ヤブツバキなども出現頻度、本数とも依然上位を占めていた。30種のうち、2018年から2021年に半数の15種が本数を減らしたのに対し、残り半数は増加または同数であった。増加したのは、シロダモ、クマノミズキ、アオハダといった鳥散布型の種子を持つものが多かった。

周辺の広葉樹林の優占樹種であるコナラは、整備5年後の本数が135本/ha(30種中16番目)で出現頻度も35%とそれほど高くなかった(表-2)。

## 5. 下層植生と A<sub>0</sub>層の被覆率の変化

図-8は、平均植生被度と平均 A<sub>0</sub>層被覆率の推移を示している。A<sub>0</sub>層被覆率は、竹の落葉が多くみられたため、元々高いまま推移していた。植生被度は、2018年に急激に増加した後、一貫して上昇傾向を示し2021年には95%に達した。なお、植生被度に占める笹竹の被度の割合は徐々に増加傾向

を示し、2018年に9.5%だったのが、2021年には20.4%と2倍に増加した。

#### IV. 考察

##### 竹の再生状況

再生竹の本数は、親竹伐採直後に比べ5年後には全体的に減少している(図-1)ことから、2年間の刈り払いが効果的であったことが示された。再生竹の本数は、初期には親竹の本数の多い場所や光環境の良好な場所で多い事例がみられたが、5年後にはそれらの差が小さくなっていた(図-2、3)このことから、刈り払いは光環境に関係なく再生力を抑制する効果があったと考えられる。針葉樹人工林での侵入竹整備5年後(小谷 2018)と比較すると、再生竹の本数は多い傾向にあるが、平均樹高はほぼ同じであった(小谷 2018)。ただし、侵入竹林整備同様、樹高は刈り払い2年目以降急激に高くなっている(図-1)ことから、今後さらに勢いを増す可能性は考えられる。以上のことから、整備後再生竹は、侵入竹林整備地とほぼ同じ傾向を示し、本数が減少する半面、樹高成長は上向き傾向であることから、今後とも継続した監視が必要であると考えられる。

##### 広葉樹の更新に与える影響

高木広葉樹では、種数が2年目に増加した後横ばいとなり、本数も2年後に急増した後徐々に減少する傾向(図-4)がみられ、それらの5年後の数値は、いずれも侵入竹林整備地(小谷 2018)での値に比べて小さくなっていた。2年目での増加傾向は侵入竹林整備地でもみられたが、3年目以降放置竹林で減少傾向にあるのは、侵入竹林に比べてアカメガシワやカラスザンショウなどのパイオニア種の本数が全体に占める割合が高いためと考えられる(表-2)。パイオニア種が多い原因は、侵入竹林整備地に比べて親竹伐採後の光環境が良好なため(小谷 2018; 図-6)と考えられる。また、3年目以降減少傾向が顕著であったのは、パイオニア種が競争に弱いため、または刈り払いの影響を受けやすかったためと考えられる。

整備5年後の広葉樹の平均樹高は120cmで侵入竹林整備5年後(80cm)に比べて高かった(図-6)。これは、同じく親竹伐採跡後の光環境が良好であったためと考えられる。整備直後の開空度を比較すると、侵入竹林整備地では15%であったのに対し、放置竹林では48%(3.2倍)である(小谷 2018;

図-6)。整備5年後を比較しても前者が13%であったのに対し、後者は33%(2.5倍)で常に放置竹林整備地では高い開空度が維持されている(小谷 2018; 図-6)。放置竹林整備5年後の再生竹の樹高は侵入竹林整備5年後(小谷 2018)とほとんど変わらなかったことを考えると、侵入竹林整備地での広葉樹の成長は、再生竹に加え、針葉樹の残存立木の影響を受けていることが考えられる。一方、放置竹林での広葉樹の成長は再生竹のみの影響となる。実際、広葉樹の平均樹高と開空度の関係で、初期には光環境の影響を受けにくかったにもかかわらず、5年後には好適な環境で樹高が高くなる傾向がみられた(図-5)ことや、GLMMの解析の結果、5年後の広葉樹の本数に対し、開空度が正の、竹の本数と樹高が負の影響を与えていることから、再生竹の伸びが光環境を制御し、広葉樹の成長に影響を与えている(図-7)ことを示している。

これらのことから、放置竹林の整備跡地で更新した広葉樹は侵入竹林に比べて種数や本数は若干少ないが、光環境が劇的に改善し成長が速いために、広葉樹林への回復が速いと考えられる。

##### 広葉樹の樹種構成の変化

放置竹林整備跡地に出現した広葉樹の樹種構成は、基本的に手入れ不足人工林の強度間伐地(小谷 2011)や侵入竹林整備地(小谷 2018)に出現した樹種とほとんど同じで、里山広葉樹林に出現する樹種であった(表-2)。これは、いずれも標高や立地条件がほぼ同じ場所に位置しているためと考えられる。整備5年後にパイオニア樹種は大幅に減少し、シロダモ、クマノミズキ、アオハダなどの鳥散布型を持つ樹種が増加する傾向や、伐採前からの前生樹と思われるシロダモやウラジロガシなど常緑広葉樹の本数が維持されている(表-2)のも侵入竹林整備地と同様である(小谷 2018)。このことから、竹林を整備すれば多種多様な樹種の森林に回復できる可能性が示唆される。ただし、放置竹林整備地では周辺広葉樹林の優占種であるコナラの出現が侵入竹林整備地(780本/ha)より低調で、コナラを主とした広葉樹林への回復の可能性は低いか、またはその回復に時間を要すると考えられる。

##### 下層植生とA<sub>0</sub>層の被覆率の変化

水源涵養機能や土砂流出防止機能など公益的機能の指標として、下層植生や林床のA<sub>0</sub>層の変化も整備後の重要な注目点である。今回の結果では、



植生被度は親竹伐採後一貫して増加傾向を示し、5年後には平均で95%に達し、侵入竹林整備地の80%を上回っていた(図-8)。皆伐された竹林は、放置された竹林に比べ降雨による地表流が5分の1に減少し、浸食土壌量も3分の1程度に減少するが、これには林床植生の有無が影響しているとされている(豊原ら 2005)。また、針葉樹人工林では植生被度が50%前後に達すれば被度20%前後の土砂流出量の1%程度に抑えられる(小倉・小谷 2008)とされている。このことから、多くの整備跡地で機能が回復していると考えられる。ただし、笹竹の割合が侵入竹林整備地に比べて高くなっている(小谷 2018; 図-8)ことは、今後注視する必要があると考えられる。

A<sub>0</sub>層の被覆率も機能に関係することが指摘されている(服部ら 1992)。今回の結果では、侵入竹林同様、整備直後から高い値で推移している(図-8; 小谷 2018)ことから、機能の変化に大きな影響を与えていないかもしれない。

以上のことから、放置された竹林の整備の結果、竹の再生力を弱めることは可能であった。しかし、再生竹は完全に絶えておらず、徐々に勢いを取り戻して来る可能性があるため、今後状況を見ながら追加の刈り払いが必要と考えられる。一方、高木広葉樹はパイオニア樹種が多い傾向にあったが、多種多様な樹種が更新しており、侵入竹林整備地よりも成長が速く、広葉樹林への回復が早いと考えられた。また、植生被度の急速な高まりによって公益的機能も順調に回復していることが示唆された。

## 引用文献

- Bates D、Maechler M、Bolker B、Walker S (2023) Linear Mixed-Effects Models using 'Eigen and S4' R package version 1. 1-21: 32-35
- 藤井義久・重松敏則 (2008) 継続的な伐竹によるモウソウチクの再生力衰退とその他の植生回復。ランドスケープ研究 71: 529-534
- 藤井義久・重松敏則・西浦千春 (2005) 北部九州における竹林皆伐後の再生過程。ランドスケープ研究 68: 689-692
- 服部重昭・阿部敏夫・小林忠一・玉井幸治 (1992) 林床被覆がヒノキ人工林の浸食防止に及ぼす影響。森林総合研究所研究報告 36: 2-33
- 石田弘明・服部 保・今西朋子・加藤 文・高比良響・豊木麻由・山田真紀子・山崎香陽子 (1999) 三田市フラワータウンにおけるモウソウチク林の皆伐後の植生動態。人と自然 10: 29-40
- 小谷二郎 (2011) 林分管理および立地環境が針葉樹人工林内の広葉樹の更新に与える影響。石川県林業試験場研究報告 43: 1-4
- 小谷二郎 (2018) 針葉樹人工林内に侵入した竹の整備が植生回復に与える影響。石川県農林総合研究センター林業試験場研究報告 49: 1-6
- 小倉 晃・小谷二郎 (2008) 林種および下層植生被度が異なる人工林の土壌流出量。石川県林業試験場研究報告 40: 27-28
- R Core Team (2023) R: language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/> (2023年3月25日参照)
- 鈴木重雄 (2010) 竹林は植物多様性が低いのか?。森林科学 58: 11-14
- 鈴木重雄・菊池亜希良・中越信和 (2008) モウソウチク稈の除去後に再生した植生の構造と種組成。景観生態学 12: 43-51
- 竹中明夫 (2009) 全天写真解析プログラム CanopOn 2. <http://takenaka-akio.org/etc/canopon2/> (2023年3月25日参照)
- 鳥居厚志 (2006) 竹林の分布拡大の現状とその背景。林業と薬剤 175: 18-27
- 鳥居厚志・井鷲裕司 (1997) 京都府南部地域における竹林の分布拡大。日本生態学会誌 47: 31-41
- 豊原裕子・土屋 智・逢坂興宏 (2005) 密度の異なる竹林試験区における地表流出と土壌浸食。中部森林研究 53: 213-216

# カラスザンショウから抽出される香気成分の利用可能性の検討（Ⅱ） —当年シュートについて—

富沢裕子・笹木哲也\*・渥美幸大・大本健太郎\*\*・向野峻平・矢田 豊

本研究では、カラスザンショウ (*Zanthoxylum ailanthoides*) の利用可能性を検討することを目的に、当年シュートから抽出される精油および芳香蒸留水の香気成分を分析し、成分の同定と採取方法や成長量を調査した。その結果、構成される香気成分はサンショウ (*Z. piperitum*) と類似しているものがあり、また、抗菌活性を有する成分の含有が確認された。他にも有用とされる成分が認められ、特に芳香蒸留水において、カラスザンショウの香気成分としての利用可能性が期待できる。

キーワード：カラスザンショウ、当年シュート、香気成分、芳香蒸留水、熱水蒸留法

## I. はじめに

樹木の香りには人間に対するリラクゼーション効果の他、抗菌、抗ダニ等の効果があることが知られており、様々な分野での利用について高い関心が集まっている。樹木の香りを構成する香気成分は、樹木を水蒸気で蒸留することで精油（エッセンシャルオイル）や芳香蒸留水として採取でき、香料をはじめ芳香剤、消臭剤、化粧品等として利用できる。

近年、森林サービス産業への期待が高まっており（森林・林業白書 2022）、天然資源の有効利用や林業・特用林産業の活性化を図るため、多様な用途で森林資源を活用していく必要があり、香気成分を多く含む樹木について検討する中で、カラスザンショウに注目した。

カラスザンショウは、サンショウと同じミカン科サンショウ属の落葉高木で、日本国内では、本州、四国、九州に分布し、石川県内では標高 400m 以下の低山に広く分布しており（石川県林業試験場 1994）、先駆樹種として県内において主に主伐跡地に自生している。カラスザンショウの果実の含有芳香成分は、サンショウと類似している成分が多く、既存の利用されているサンショウに対してカラスザンショウがその代替品、もしくは新たな精油としての利用可能性があることが示唆された（向野ら 2022）。他のいくつかの樹種と同様に、カラスザンショウの枝等（シュート）が利用可能な場合、主伐再生林の副次的な再生林樹種の一つとして、または、主伐跡地の天然更新個体を活かした、副収入源として扱える可能性もあると考えられる。

本研究では、カラスザンショウの当年シュートの香気成分の利用可能性を検討することを目的に、採取方法や成長量の調査、及び成分分析を行った。

## II. 調査地の概要および調査方法

### 1. 調査地の概要

石川県内の 2 地点を調査地とした。（図-1）。調査対象であるカラスザンショウの当年シュートは、金沢市の上涌波私有林（以下、上涌波）では、2016 年更新伐施業時に作成された作業道沿いに自生していた若齢木から採取した。小松市西俣の西俣県有林（以下、西俣）では、林道の脇に自生している幼齢木から採取した。

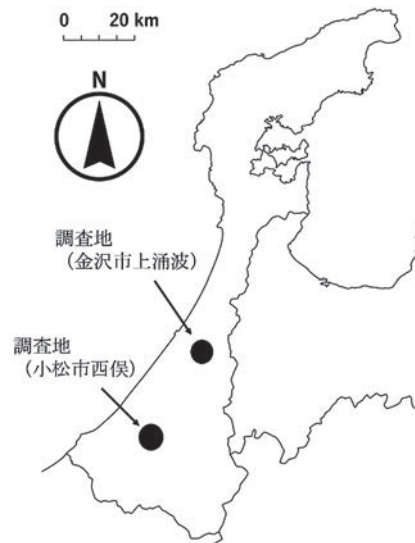


図-1. 調査地図

### 2. 採取方法調査及び蒸留について

上涌波で、2022 年 6 月から 10 月にかけて採取時期を 4 回に分けてサンプルとなるカラスザンショウの当年シュートを採取した。高枝切りバサミや剪定バサミを用いて採取し、当年シュート採取木（以下、採取木）と当年シュートの各本数、採取量を記録した。また、採取に要する時間を計測した。

採取したサンプルから熱水蒸留法を用いて精油及び芳香蒸留水を抽出した。蒸留は、各採取日に採取できた全量を、36 L の容器で、IH加熱装置

\*石川県工業試験場 \*\*EarthRing

で3時間かけて行った。採取時期ごとの精油の抽出量及び抽出率を記録し、適切な採取時期の検討を行った。

### 3. 成分分析

ガスクロマトグラフィー質量分析法（以下 GC-MS）で成分分析を行った。分析装置は 7890A/5375C（Agilent 製）を、オートサンプラーは MPS2（Gestel 製）を使用した。

精油試料は酢酸エチルで 200 倍に希釈し、マイクロシリンジで試料 1  $\mu$ L を注入口に導入した。芳香蒸留水は、試料 5  $\mu$ L を 20mL バイアルに入れ、SPME 法（固相マイクロ抽出法）でファイバー（Divinylbenzene/Carboxen/Polydimethylsiloxane、膜厚 30  $\mu$ m、長さ 1cm、Supelco 製）に香氣成分を抽出し、注入口に導入した。抽出温度は 60  $^{\circ}$ C、抽出時間は 30 分とした。

GC の分析条件については、注入口温度は 230  $^{\circ}$ C、スプリット比は精油で 1:20、芳香蒸留水で 1:10 とした。カラムは DB-Wax（60m  $\times$  0.25mm、膜厚 0.25  $\mu$ m、Agilent 製）を用い、オーブンの温度条件は、40  $^{\circ}$ C で 10 分間保持した後、毎分 5  $^{\circ}$ C ずつ昇温し、230  $^{\circ}$ C で 12 分間保持した。MS の分析条件については、イオン化電圧 70eV (EI)、イオン源温度 150  $^{\circ}$ C で、m/z 33-300 の範囲で分析した。成分同定には、Wiley-NIST マススペクトルライブラリと保持指標 (RI) データベース (AromaOffice、西川計測機製) を使用した。

### 4. 成長量調査

同一個体から持続的採取が可能であるか検討する目的で、採取木のその後の成長を調査した。上涌波では、2. 採取方法調査の採取木を対象に、2022 年 11 月下旬に採取部位直下の側芽のシュート基部直径と伸長量を計測した。西俣では、2021 年 9 月上旬に当年シュートを採取した採取木を対象に、

2022 年 9 月上旬に当年シュートの基部直径と伸長量を計測した。

## III. 結果

### 1. 採取方法調査

採取方法調査の結果は表-1 の通りとなった。採取木当たりの当年シュートの本数は、平均 3 本であったが、採取できる本数が 1~10 本と採取木によって個体差があった。採取木の大きさによるものもあるが、二又、三又となっている採取木から当年シュートをより多く採取することができた。当年シュート 1 本当たりの重さは、6 月 0.04kg、7 月 0.07kg、8 月 0.11kg、10 月 0.32kg と、当年シュートの成長に伴う増加が確認できた。なお、採取木の平均樹高は 239cm であった。

採取時期によって抽出できる精油の量が異なり、7 月採取分が最も抽出率が高く、6 月と 10 月採取分はほとんど認められなかった。また、芳香蒸留水は全て蒸留作業において、成分分析のサンプルとして 1L 程度採取した。

採取に要した時間を計測したところ、作業員 2 人（男女各 1 人）で作業した場合、約 32 分で当年シュートを 2.95kg 採取することができた。

### 2. 成分分析

成分分析結果を表-2 に示す。精油においては、モノテルペン類である  $\alpha$  および  $\beta$ -phellandrene が約 6~13% 存在していた。既報の果実精油で phellandrene が主要な成分であることが判明しており（向野ら 2022）、カラスザンショウの香りの特徴づける成分は phellandrene であることが判明した。サンショウ精油の香氣成分と比較するとサンショウも同様に phellandrene が主要な成分であることが考えられる（Kim 2012）。

また、精油中では 2-undecanone が約 38~76% 存

表-1. 採取方法調査の結果

採取日	採取木		当年シュート					採取時間			
	本数	本数	採取木	採取量	1本当たり	精油	抽出率	剪定	葉切り	(A+B)	作業員
	(A)	(B)	当たり本数	(C)	の重さ	抽出量					
(本)	(本)	(本)	(kg)	(kg)	(mL)	(%)	(分)	(分)	(分)	(人)	
6月27日	20	48	2	2.15	0.04	<0.1	-	28	20	48	男1女1
7月21日	15	43	3	3.05	0.07	1.03	0.03	40	37	77	女1
8月30日	16	33	2	3.62	0.11	0.48	0.01	23	21	44	男1女1
10月5日	5	19	4	6.01	0.32	<0.1	-	22	15	37	男1女1
全体平均	14	36	3	3.71	0.10			28	23	52	
平均(7月21日抜き)	10	25	2	2.95	0.12			18	14	32	男1女1
合計	56	143	3	14.83	0.10			113	93	206	

表-2. 精油と芳香蒸留水に含有される香気成分の割合

No.	成分名称	化学式	RT <sup>※</sup>	香りの特徴	ピークエリア (%)			
					6/27	7/21	8/30	10/5
精油								
1.	isobutyl acetate	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	14.6	apple	2.43	0.03	0.04	23.27
2.	$\alpha$ -pinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	14.9	citrus	1.63	2.70	1.56	< 0.01
3.	$\alpha$ -thujene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	15.1	green	< 0.01	0.05	0.04	< 0.01
4.	2-butanol	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	15.5	fruity	2.80	0.05	0.05	22.30
5.	camphene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	16.8	aromatic	< 0.01	0.03	0.04	< 0.01
6.	$\beta$ -pinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	18.7	citrus	< 0.01	0.06	0.04	< 0.01
7.	3-carene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	20.4	citrus fruit	< 0.01	0.09	0.07	< 0.01
8.	$\alpha$ -phellandrene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	21.1	citrus-like	6.68	< 0.01	< 0.01	8.12
9.	limonene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	22.4	lemon	2.62	4.33	3.55	3.83
10.	d-limonene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	22.4	citrus	2.62	4.32	3.55	3.83
11.	$\beta$ -phellandrene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	22.7	citrus-minty	6.46	13.24	10.73	< 0.01
12.	$\gamma$ -terpinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	24.1	camphor-like	< 0.01	0.03	0.02	< 0.01
13.	$\beta$ -ocimene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	24.3	floral	< 0.01	0.08	0.08	< 0.01
14.	<i>p</i> -cymene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	24.9	carrot top	< 0.01	0.49	0.24	< 0.01
15.	terpinolene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	25.4	citrus	< 0.01	0.13	0.10	< 0.01
16.	octanal	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	25.6	almond	< 0.01	0.02	0.03	< 0.01
17.	2-nonanone	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	28.7	baked	< 0.01	0.68	0.58	< 0.01
18.	nonanal	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	28.8	aldehyde	< 0.01	0.07	0.08	< 0.01
19.	octyl acetate	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	31.0	daidai-like	< 0.01	0.12	0.16	< 0.01
20.	decanal	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	31.7	baked	< 0.01	0.29	0.42	< 0.01
21.	linalool	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	32.9	althea	< 0.01	0.48	0.75	< 0.01
22.	( <i>E</i> )- <i>p</i> -2-menthen-1-ol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	33.5	minty odour	< 0.01	0.04	0.04	< 0.01
23.	2-undecanone	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub> O	34.3	citrus	73.48	70.69	76.08	38.65
24.	4-terpineol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	34.5	apple	< 0.01	0.03	0.07	< 0.01
25.	$\alpha$ -terpineol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	36.7	anise	< 0.01	0.01	0.02	< 0.01
26.	geranyl acetate	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	37.9	citrus-like	< 0.01	0.06	0.08	< 0.01
27.	nerol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	39.0	citrus	< 0.01	0.02	0.05	< 0.01
28.	2-tridecanone	C <sub>13</sub> H <sub>26</sub> O	39.2	fatty	1.28	0.88	1.13	< 0.01
29.	<i>E</i> -nerolidol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	43.8	apple	< 0.01	0.48	0.20	< 0.01
30.	nerolidol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	43.8	dill	< 0.01	0.47	0.20	< 0.01
芳香蒸留水								
1.	hexanal	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	17.6	apple	3.80	1.42	0.56	0.56
2.	$\alpha$ -phellandrene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	21.0	citrus-like	3.20	3.43	2.17	< 0.01
3.	$\alpha$ -Terpinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	21.6	berry	1.26	1.10	0.67	0.28
4.	$\beta$ -phellandrene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	22.7	citrus-minty	5.27	4.32	2.55	1.12
5.	cineole	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	22.9	balsamic	0.07	< 0.01	0.09	< 0.01
6.	octanal	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	25.6	almond	0.92	0.37	0.39	2.51
7.	2-nonanone	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	28.7	baked	5.78	7.00	5.09	0.89
8.	benzaldehyde	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	32.6	almond	0.81	1.10	0.38	3.35
9.	linalool	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	32.9	althea	51.97	63.12	64.48	4.12
10.	octanol	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	33.2	aldehydic	2.27	1.14	0.63	0.88
11.	2-undecanone	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub> O	34.3	citrus	10.35	5.27	8.52	5.39
12.	4-terpineol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	34.5	apple	7.78	6.32	4.70	1.41
13.	$\alpha$ -terpineol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	36.8	anise	4.62	3.35	2.68	2.19
14.	geraniol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	39.9	bay-leaf-like	< 0.01	0.74	3.32	< 0.01
15.	nerol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	39.9	citrus	< 0.01	0.74	3.32	< 0.01
16.	benzyl alcohol	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	40.7	aromatic	0.47	0.35	0.16	71.11
17.	elemol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	44.9	fruity	0.70	0.11	0.10	2.95
18.	$\gamma$ -eudesmol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	46.7	green	0.19	< 0.01	0.04	1.34
19.	$\alpha$ -eudesmol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	47.7	sweet-woody	0.18	0.05	0.05	1.02
20.	$\alpha$ -cadinol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	47.8	floral	0.07	0.03	0.02	< 0.01
21.	$\beta$ -eudesmol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	47.9	green	0.29	0.05	0.07	0.89

※RT (保持時間) : 試料を注入してから各物質が検出されるまでの時間。

在しており、高い割合を構成している。2-undecanone 分であり、phellandreneと同様に特徴づける成分では他のサンショウ属の樹木で存在が確認される成分であることが考えられる (Striwichai et al. 2021)。



phellandreneと2-undecanoneは、芳香蒸留水においても存在が確認された。

その他の精油中の香気成分は  $\alpha$ -pinene や limonene、 $\beta$ -ocimene および *p*-cymene などが存在しており、特に limonene は既報の果実精油と共通して存在していた。

芳香蒸留水で特徴的な成分として、linalool や  $\alpha$ -terpineol、2-nonanone が存在しており、linalool が最も高い割合で存在していた（6月～8月）。それぞれショウガ科の植物で存在することが確認されており（Sakhanokho et al. 2013）、2-nonanone は植物だけでなく微生物も二次代謝産物として生成する自然界で広く存在するケトン類である（Okumura et al. 1985）。

### 3. 成長量調査

上涌波の成長量調査の結果は表-3 の通りとなった。6月と7月の採取木では、採取部位直下のシュートが伸長しており（図-2）、8月、10月の採取木では、切り残した当年シュートの伸長が確認された。採取時期が早いと当年シュート採取部位直下の休眠芽が伸長することがわかった。そのシュートの伸長量は、6月から約5カ月で35cm、7月から約4カ月で22cmであり、1カ月で平均5.5～7cm伸長した。

表-3. 上涌波における成長量（採取～11月末）調査の結果

採取日	採取木 (本)	本数 (本)	基部直径		伸長量	
			平均値 (mm)	伸長期間 (cm)	平均値 (mm)	伸長期間 (cm)
6月27日	8	22	11.1	35	約5カ月	
7月21日	8	14	9.0	22	約4カ月	
8月30日	4	5	12.6 ※	47	約3カ月	
10月5日	4	8	8.9 ※	45	約2カ月	

※切り残した当年シュート

西侯の成長量調査の結果は表-4 の通りとなった。平均切断面直径は、2021年11.5 mmと2022年10.7 mmでほぼ差はなく、採取長は、個体差が認められるものの、平均すると大きな差(2021年29 cm、2022年25 cm)は見られなかった。2022年に成長した当年シュート本数は、前年の採取数と大きく変わりなかった。採取木Dは枝が折れていたため、2022年の計測はできなかった。なお、西侯の採取木の平均樹高は698cmであった。



図-2. 6月27日採取木（撮影11月末）

表-4. 西侯における成長量（1年）調査の結果

採取木	2021年秋				2022年秋			
	前年 シュート No	平均 切断面直径 (mm)	平均 採取長 (cm)	採取数 (本)	平均 切断面直径 (mm)	平均 採取長 (cm)	採取数 (本)	
	A	1	11.1	47	3	12.5	31	3
	2	11.6	43	2	8.3	41	2	
	3	12.2	36	2	8.7	14	3	
B	1	9.8	38	1	8.4	6	1	
	2	14.2	41	2	14.6	43	1	
	3	13.1	28	2	12.3	22	2	
C	1	10.2	17	2	9.5	15	2	
	2	12.1	24	2	11.6	28	3	
D	1	11.1	14	1	—	—	—	
	2	9.9	7	1	—	—	—	
	平均	11.5	29		10.7	25		

## IV. 考察

### 1. 採取方法調査

原材料となるカラスザンショウの当年シュートは、個体差はあるものの、採取木1本当たり平均して3本採取することができ、その1本当たりの重さは成長に伴い増加することが確認できた。当年シュートの成長が止まるまで1本当たりの採取量は増加する一方、精油成分については、抽出できる時期とできない時期があり、7月から精油抽出量が増加し、9月以降減少したと考えられることから、適切な採取時期は7月から8月にかけてであると考えられる。向野ら（2022）は、当年シュートの適切な採取時期を6月下旬頃から8月上旬頃と推定しており、ほぼ期間が一致している。芳香蒸留水においても、2.成分分析の結果より、6月～8月にかけて linalool が高い割合で存在しているため、同じ時期に採取した当年シュートを利用すると効率がよいと考えられる（利用価値については後記の2.成分分析の考察を参照）。一方、

芳香蒸留水は精油と違ってどの時期でも抽出できることから、目的に応じた香気成分によっては採取のタイミングが精油と異なる場合があることを考慮する必要がある。採取の適期(7月~8月)は、造林事業においては下刈り作業を実施する夏季と同時期であることから、下刈り作業の副次的な産物としての採取が期待できる。

次に、カラスザンショウの当年シュートを原材料とした場合の香気成分の生産コストについて、検討する。まず、精油について、表-1より当年シュートの抽出率は0.03%と仮定する。比重を計測した結果、約0.87mL/gであった。また、蒸留の材料採取作業を作業員2人で行った場合、約32分で2.95kg採取できること(表-1)から、作業員1人の場合、約64分で同等量が採取できると考えられる。Webサイトで販売されているサンショウ(果実)の標準的な価格は、5mLで6,500円~7,400円であった(長久創薬 2018、正プラス株式会社 2018)。1日の労働時間を8時間とし、移動時間2時間を差し引き、採取時間6時間とすると、1日の採取量は、2.95kgの約6.5倍で、約19.18kgとなる。ここに抽出率の0.03%を乗じ、ここから抽出できる精油量は、約0.58gとなり、これを比重の0.87で割り、mLに変換すると、約0.67mLとなった。成分分析の結果より、カラスザンショウの当年シュート精油の主要な香気成分がサンショウ(果実)精油と同じことから、サンショウと同程度の価格(6,500円と仮定)で販売できたとすると、5mLで6,500円のため、0.67mLでは871円となる。そこから人件費や抽出にかかる費用等を差し引く必要があるため、当年シュートの精油で採算を得ることは難しい。一方、芳香蒸留水について、36Lの蒸留容器では、1回の蒸留あたり材料2kgで1.5Lの芳香蒸留水が抽出できる。1日最大5回抽出可能(2時間/回)であるため、必要材料は10kgで、7.5Lの芳香蒸留水を得ることができる。また、蒸留の材料採取作業を作業員1人で行った場合、上記考察のとおり、約64分で2.95kgが採取できると考えられる。つまり、材料10kgを1人で採取する場合、約4時間要することになる。1日の労働時間を8時間とした場合、材料採取に要する人件費(15,900円/日とする)は、移動時間2時間と採取時間4時間から、11,925円となる。Webサイトで販売されている、針葉樹や広葉樹の芳香蒸留水の標準的な価格は、1Lで19,000円~

32,600円であった(株式会社エムアファブリー 2020、フロリハナ株式会社 2021)。カラスザンショウの当年シュートの芳香蒸留水も、同程度の価格(19,000円と仮定)で販売できたとすると、1日7.5Lで142,500円となる。そこから先ほど算出した人件費と抽出にかかる費用(36L容器で10,000円/回)を差し引き、80,575円と算出される。この他容器の代金等諸経費を考慮しても、十分に採算が得られることが期待できる。今回、蒸留から得られる芳香蒸留水を成分分析のサンプルとして各1L採取したが、蒸留の規模や火力条件などにより得られる芳香蒸留水量が増減すると考えられることから、実用化にあたってはそれらを考慮する必要がある。また、芳香蒸留水を販売することで、単体では採算が難しい精油についても、製品化の可能性のあるものと考えられる。

## 2. 成分分析

既報の果実精油の成分分析の結果と総合して、カラスザンショウの香りを特徴づける香気成分は高い比率を占める phellandrene と 2-undecanone および limonene や linalool などの成分であることが判明した。これらの成分は同属のサンショウと共通する成分であることから、サンショウの代替としての利用の可能性が考えられる。また、それぞれの成分の存在比率が異なることから、新規精油としての利用の可能性が示唆される。phellandrene は抗菌活性を有することが知られており(Zhang et al. 2017)、精油として利用するにあたっては香りに加えて抗菌作用があることが期待できることから、付加価値が高いものであると考えられる。精油と同様に芳香蒸留水からも同一の成分が検出されたこと、また、香りの良さから化粧水や香水などの香料として使用されている linalool(稲本 2010)が検出されたことから、芳香蒸留水としての利用が期待できる。特に芳香蒸留水は機能性化粧品としての需要が見込まれていることから、精油と異なる用途が期待できる(小木曾 2009)。

## 3. 成長量調査

上涌波において、当年シュートを採取した後も年内に採取部位直下のシュートが成長する等旺盛な成長が確認できた。また、西俣において、当年シュートを採取して1年経過後も前年とほぼ変わらずの材料を採取できることが確認できた。今回の結果より、カラスザンショウの若齢木や幼齢木

で、持続可能な当年シュートの採取が可能であると考えられる。主伐跡地の天然更新個体を活かした、副収入源としての可能性が示唆された。

本研究結果から、カラスザンショウの当年シュートの香気成分としての利用の可能性が高いことが判明した。近年、再造林地に発生し、下刈りで刈られている競合植生の中からタラノキに注目し、造林木と共存させながら収益を上げる検討（大矢ら 2023）や、アカマツが枯損して広葉樹林化した林内において、これまで未利用資源であったネズミサシの球果に付加価値の高い用途を探索するといった取り組みがされている（山場 2019, 2020）。カラスザンショウのような造林樹種以外の樹木は雑木として伐採され放置されているのが現状であるが、それらを未利用資源と捉えて利用する可能性を検討していくことが、今後林業における新たな収入源となる可能性を発掘することになると考えられる。

## 引用文献

- 長久創薬 (2018) FRAGRANT KISHU-WAKA (山椒).  
[https://chokuyousouyaku.com/products/fragrant-kishu-waka\\_sansyo/](https://chokuyousouyaku.com/products/fragrant-kishu-waka_sansyo/) (2023年3月9日参照)
- Hamidou F Sakhanokho, Blair J Sampson, Nurhayat Tabanca, David E Wedge, Betul Demirci, Kemal Husnu Can Baser, Ulrich R Bernier, Maia Tsikolia, Natasha M Agramonte, James J Becnel, Jian Chen, Kanniah Rajasekaran, James M Spiers (2013) Chemical composition, antifungal and insecticidal activities of *Hedychium* essential oils. *Molecules* 18 (4): 4308-4327
- フロリハナ株式会社 (2021) フローラルウォーター (芳香蒸留水) サイプレスウォーター・オーガニック  
<https://www.florihana.co.jp/?pid=159884336>  
(2023年3月9日参照)
- 稲本 正 (2010) クロモジ. (日本の森から生まれたアロマ. 株式会社世界文化社). 17-19
- 石川県林業試験場 (1994) カラスザンショウ. (石川県樹木分布図集. 石川県林業試験場). 222
- Ji-Hong Zhang, He-Long Sun, Shao-Yang Chen, Li Zeng, Tao-Tao Wang (2017) Anti-fungal activity, mechanism studies on  $\alpha$ -Phellandrene and Nonanal against *Penicillium cyclopium*. *Botanical Studies* 58 (1) : 13
- J Okumura, J E Kinsella (1985) Methyl Ketone Formation by *Penicillium camemberti* in Model Systems. *Journal of Dairy Science* 68 (1) : 11-15
- Jong-Hee Kim (2012) Seasonal variations in the content and composition of essential oil from *Zanthoxylum piperitum*. *Journal Ecology and Environment* 35 (3): 195-201
- 株式会社エムアファブリー (2020) KUMANO NO KAORI (フローラルウォーター(芳香蒸留水)).  
<https://shop.maffably.com/?mode=cate&cbid=2686911&csid=0&page=1> (2023年3月9日参照)
- 向野峻平・笹木哲也・大本健太郎・内藤善太・富沢裕子・矢田 豊 (2022) カラスザンショウから抽出される香気成分の利用可能性の検討. *中部森林研究* 70 : 13-16
- 小木曾加奈 (2009) 信州産ハーブの芳香蒸留水—その特性と機能性. *長野県短期大学紀要* 64: 49-59
- 大矢信次郎・田中裕次郎・柳澤賢一・加藤健一 (2023) 小面積皆伐地における低コスト・高収益更新モデルの構築. *長野県林総セ研報* 37: 1-8
- 林野庁 (2022) 多様な森林空間利用に向けた「森林サービス産業」の創出. (森林・林業白書. 林野庁). 124-125
- 正プラス株式会社 (2018) yuica エッセンシャルオイルサンショウ (果皮部).  
<https://www.yuica.com/products/68126225>  
(2023年3月9日参照)
- Trid Sriwichai, Jiratchaya Wisetkomolmat, Tonapha Pusadee, Korawan Sringarm, Kiattisak Duangmal, Shashanka K. Prasad, Bajaree Chuttong, Sarana Rose Sommano (2021) Aromatic Profile Variation of Essential Oil from Dried Makwhaen Fruit and Related Species. *Plants* 10 (4): 803
- 山場淳史 (2019) ネズミサシの付加価値の高い新たな用途を検索する. *ひろしまの林業* 820 : 8-9
- 山場淳史 (2020) 地域内木質バイオマス利用を背景とした里山林未利用樹種ネズミサシの付加価値化. *森林利用学会誌* 35 (1) : 61-66



# スギ心持ち平角乾燥材における含水率および内部割れの材長方向分布

松元 浩・石田洋二・村野朋哉\*・小倉光貴\*\*

スギ心持ち平角に対して高温セット処理を伴う人工乾燥を行い、乾燥材の含水率および内部割れの材長方向分布について検討した。その結果、含水率の材長方向分布は全体的に材端部から材内部に向かって増加する傾向を示し、その増加率は材内部に向かうほど緩やかになるものの、材端から 100cm まではすべての試験体で含水率傾斜が認められた。特に材中央部の含水率が 20%超の試験体では材端部と材内部の含水率差が大きい傾向を示した。内部割れ総長さは材端部が最も多く材内部に向かうにつれて減少する傾向を示した。材長方向に含水率傾斜のある乾燥材の含水率を求める場合、両材端部 30cm 部分に加えて材中央部も計算に含むことが望ましい。

キーワード：スギ心持ち平角、高温セット、含水率、内部割れ、材長方向分布

## I. はじめに

我が国の人工林、特にスギにおいて高齢級化が進み大径材の供給が増加している。大径材の有効利用について様々な木取りが検討されているが、その中でも大径材だからこそ得られる大きな断面の構造用製材として、心持ちや心去りの平角が考えられる。平角は、梁や桁といった強度や寸法精度を要求される部位に使用されることから適切な条件で乾燥することが必須となるが、心持ちの場合は心持ち正角と同様に乾燥に伴い材面割れが発生しやすい。また、材面割れ抑制を目的とした高温セット処理を適用する場合、処理条件によっては強度に影響を及ぼすような内部割れが発生する可能性がある。そこで筆者らは、これまでにスギ心持ち平角に対して、高温セット処理を用いて割れが少なく強度特性が低下せずかつ乾燥時間とコストとのバランスが取れる乾燥条件を検討してきた（松元ら 2021）。その際、乾燥仕上りの目安として材長方向中央部の含水率が目標とする含水率に到達することを目指して試験を実施してきたが、蒸気式乾燥法のように材の外部から乾燥が進む方式の場合、断面内の表層と中央の含水率傾斜に加えて材長方向にも含水率傾斜が発生することが知られており（たとえば、吉田・橋爪 2000）、断面内あるいは材長方向の含水率傾斜についても確認しておくことも重要である。一方、材端部および材端から内部の木口断面に発生する割れ（以下、内部割れ）の材長方向分布については、心持ち正角において材端部で割れ長さが大きく、その後材内部に向かって急激に減少し 30~50cm あたりで

一定の値に落ち着く傾向が示されている（「安全・安心な乾燥材生産技術の開発」研究グループ 2012；寺西ら 2016a, b）。一般的に、平角は正角よりも断面が大きいことから、所要乾燥時間も長くなり、それによって含水率および内部割れの材端部と中央部の傾斜は大きくなると推測されるが、心持ち平角に関する報告は少ない（河崎・野上 2006）。そこで本報では、スギ心持ち平角に対して高温セット処理を伴う人工乾燥を行い、乾燥材の含水率および内部割れの材長方向分布について検討した結果を報告する。

## II. 試験方法

### 1. 供試材および乾燥条件

石川県産スギ心持ち平角（断面寸法 120×285mm、長さ 4000mm）30 体に対し、蒸気式乾燥装置（新柴設備（株）製 SKIF60HPT）を用いて、95℃蒸煮 7 時間の後、高温セット処理を乾球温度 120℃、湿球温度 90℃で 18 時間行い、その後の乾燥を目標含水率 20%とし、乾球温度 90℃、湿球温度 60℃で 336 時間行った。なお、調湿（イコーライジング）は行っていない。

### 2. 含水率および割れの測定方法

乾燥終了後および断面寸法を 105×270mm にモルダー加工後に重量、寸法を測定した。モルダー加工後の試験体は、材面に現れた割れについて 1 本ずつ長さと最大幅を測定後、図-1 に示す通り所定の位置（計 25ヶ所）から繊維方向に約 25mm の含水率および内部割れ観察用試験片（以下、A 試験片）を採取するとともに、材長 200cm 位置（以

\*森林研究・整備機構森林総合研究所、\*\*元石川県農林総合研究センター林業試験場

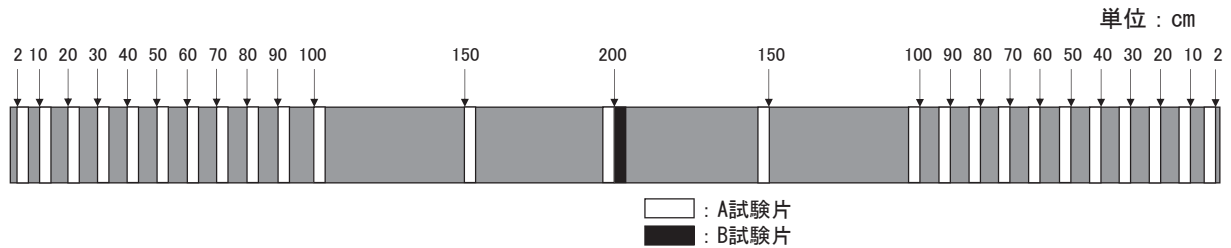


図-1. 含水率および内部割れの試験片採取位置

下、材中央部)においては断面内の含水率分布測定用試験片(以下、B試験片)を採取した。A試験片は採取後すみやかに重量を測定し、その後スキャナにより木口面の画像を撮影(保存形式:JPEG、解像度:200dpi)した。なお、撮影面は矢印で示した部分、すなわち2~150cm位置は材端側、200cm位置はB試験片との隣接部である。B試験片は図-2に示すように2方向に合計17分割し、それぞれの重量を速やかに測定した。A、B試験片とも上記作業終了後に全乾法による含水率を求めた。なお、乾燥終了後から含水率測定まで約1ヶ月経過した。

撮影した画像は画像解析ソフトImage Jに取り込み、図-3に示すように2値化し、節内部の割れを除いたすべての割れの長さと同面積を測定した。なお、図-3の場合、内部割れ総長さは697mm、総面積は742mm<sup>2</sup>である。

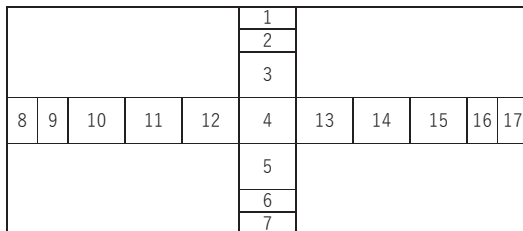


図-2. 断面内の含水率分布測定 (B試験片)

①画像のトリミング ②割れの塗りつぶし ③2値化・分析



図-3. 内部割れの測定方法

### Ⅲ. 結果および考察

#### 1. 乾燥後含水率と材面割れ

表-1に乾燥前後の試験体のみかけの密度、含水

率および材面割れの測定結果を示す。乾燥後密度、含水率および材面割れの値はモルダー加工後の値である。また、含水率は材中央部(A試験片)の含水率を示した。含水率は、平均18.5(8.0~35.1)%で、含水率20%以下が全試験体の7割にあたる21体であった(図-4)。材面割れ総長さ(試験体1本あたりの総延長)は平均で2087mmであったが、図-5に示すように、30体中23体は2000mm以下であった。筆者らがプレカット工場や住宅供給会社に対して行ったアンケート調査結果((一社)全国木材組合連合会2023)によると、梁に対して許容できる材面割れの長さは、材長の1/4程度以下が多かった。また、許容できる割れ幅は1~3mm程度までが多かった。今回の試験材の長さは4000mmであることから、許容される割れ長さは、材長の1/4で1000mmとなる。そこで、許容される割れ長さが1000mm以下、かつ割れ幅が1mm以下を基準として、材面割れの測定結果をみると、総割れ長さと最大幅の組み合わせで4面のうち1面でも基準を超過する試験体は30体中10体であったが、単独の割れで長さが1000mm超のものは現れなかった。

表-1. 乾燥前後の密度、含水率および材面割れ

	乾燥前密度 (kg/m <sup>3</sup> )	乾燥後密度 (kg/m <sup>3</sup> )	含水率 (%)	材面割れ総長さ (mm)	材面割れ総面積 (mm <sup>2</sup> )
平均値	692	435	18.5	2087	1109
最小値	495	370	8.0	389	71
最大値	1080	522	35.1	9733	4501
標準偏差	134.8	39.7	8.1	1985	966

注)乾燥後密度および材面割れはモルダー後、含水率はモルダー後の材中央部の値

#### 2. 断面内の含水率分布(材中央部)

材中央部の断面内含水率分布は、短辺方向(図-2の1~7)および長辺方向(図-2の8~17)ともに表層側で含水率が低く、断面の中央部に向かって高くなる傾向を示した(図-6)。また、表層の含水率は20%以下に乾燥していても、中央部の含水率は40%超の高い状態の材も出現した。このような材は乾燥時間を延長しても所定の含水率まで乾燥することは難しいと推察される。

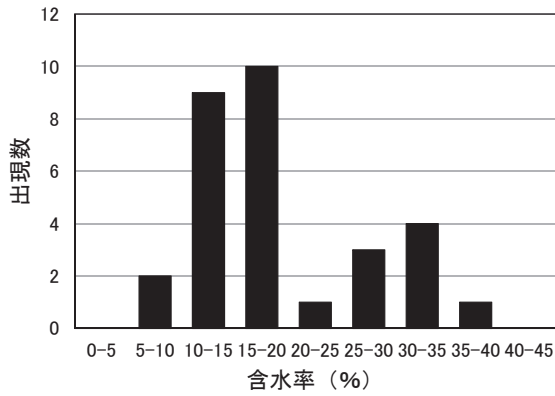


図-4. 含水率の出現数

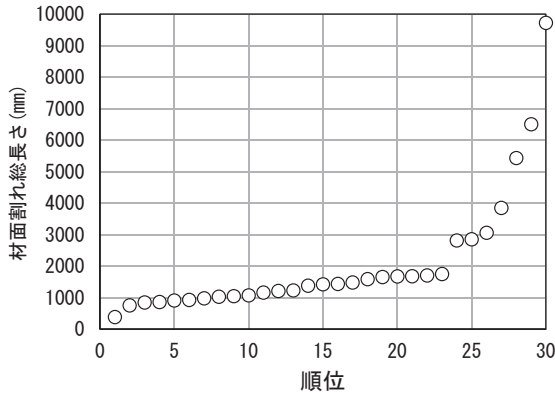


図-5. 材面割れ総長さの発生状況

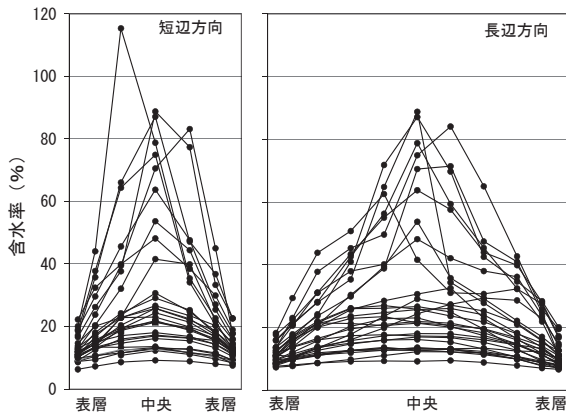


図-6. 断面内の含水率分布

### 3. 含水率および内部割れの材長方向分布

材長方向の含水率(断面の平均含水率)分布は、図-7 に示すように材端部から材内部に向かって増加する傾向を示した。その増加率は材内部に向かうほど緩やかになるものの、材端から約 100cm まではすべての試験体において含水率の傾斜が認められた。特に中央部の含水率が高い試験体では、材端部と材内部の含水率差が大きい傾向を示した。

内部割れ総長さと内部割れ総面積との関係を図-8 に示す。内部割れ総長さが長くなるほど内部割れ総面積のばらつきが大きくなるものの、両者には高い相関関係が認められる。本報においてはどちらの指標を用いても傾向が変わらないことから、

内部割れの結果はすべて内部割れ総長さで示した。

内部割れ総長さの材長方向分布を図-9 に示す。心持ち直角で報告されている結果(「安全・安心な乾燥材生産技術の開発」研究グループ 2010)と同様に、内部割れ総長さは材端部が最も多く、材内部に向かうにつれて減少する傾向を示し、約 50 cm 内部になると落ち着く傾向が認められた。

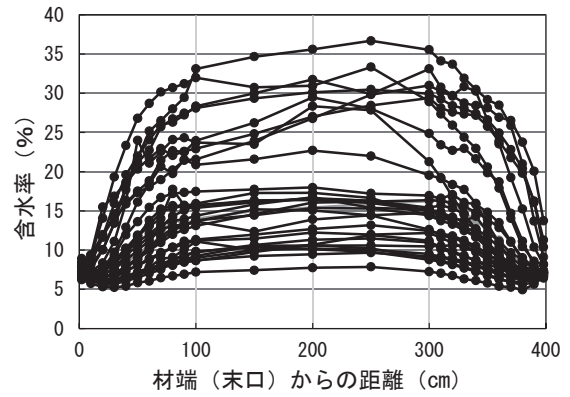


図-7. 含水率の材長方向分布

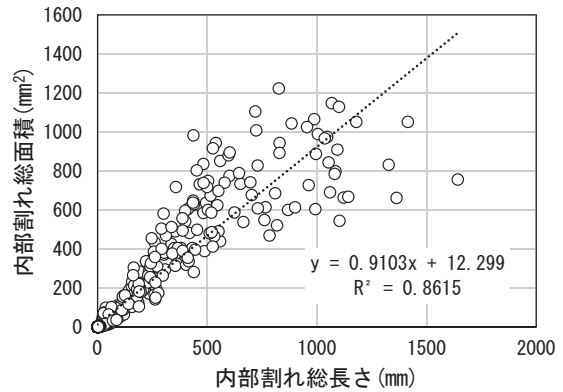


図-8. 内部割れ総長さと内部割れ総面積との関係

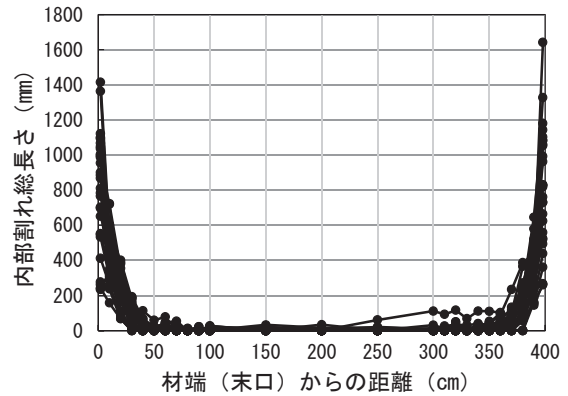


図-9. 内部割れ総長さの材長方向分布

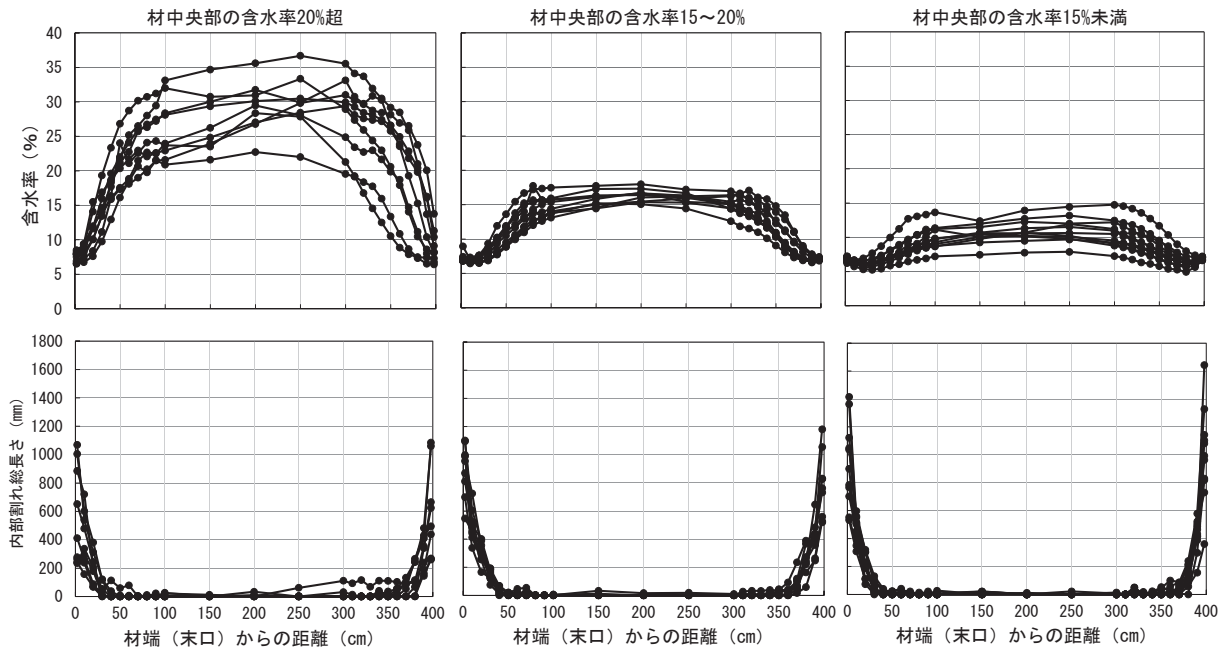


図-10. 含水率および内部割れ総長さの材長方向分布

含水率および内部割れ総長さについて、材中央部の含水率が20%超(図の左側)、15~20%(図の中央)、15%未満(図の右側)の試験体に分けて図-10に示す。材長方向の含水率傾斜(最大値-最小値)は、材中央部の含水率が20%超のグループ、15~20%のグループおよび15%未満のグループで、それぞれ、13.7~25.4%、9.8~12.8%および6.1~10.2%となり、材中央部の含水率が高いグループの含水率傾斜が大きい傾向であった。なお、材中央部の含水率が20%未満の試験体については、ほとんどの試験体で材端部から10cmまでの含水率が材端部から20cmの位置よりも含水率が高くなった。これは乾燥終了から計測までに約1ヶ月間経過したため、材端部が吸湿したことによるものと推察される。一方、内部割れ総長さについては、材長方向の傾向に違いはないが、材中央部の含水率が低いグループほど材端部の内部割れ総長さが多い傾向を示した。

#### 4. 含水率と内部割れとの関係

全てのA試験体の含水率と内部割れ総長さとの関係を図-11に示す。含水率が低くなるにつれて、特に含水率が10%以下になると内部割れ総長さが大きくなる傾向を示した。

#### 5. 乾燥材の含水率の検証

製材の日本農林規格における製材の格付けのための含水率の試験方法は、人工乾燥処理を施した材の場合、各試料製材の長さ方向の両端から約

30cm内側で欠点の影響が最も少ない部分から試験片を採取し、天然乾燥材の場合は、上記に加えて長さ方向の中央部も加える((一社)全国木材検査・研究協会2015)。ただし、工場認証を受ける際には人工乾燥材の場合も両材端から約30cm内側に加え材中央部からも試験片を採取し、3ヶ所の平均値を採用している。そこで今回の試験結果を用い、それぞれの試験体について、①両材端から30cm部分の平均値、②両材端から30cm部分および材中央部の平均値を求めた。

また、各試験体から25個のA試験片を採取しているが、それらの採取間隔に応じた加重平均値が各試験体の真の含水率に近いと考え、その値を式(1)に基づいて計算した。

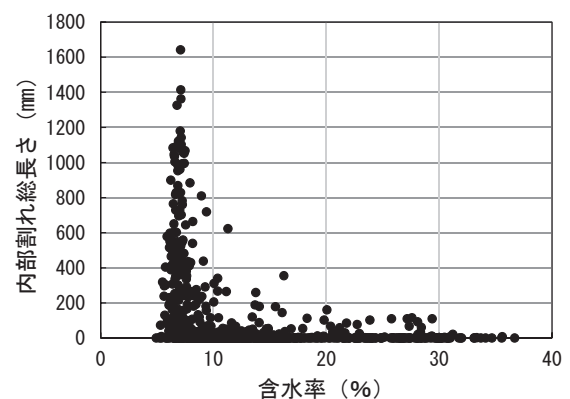


図-11. 含水率と内部割れ総長さとの関係



$$\Sigma (MC_n \times L_n) / 400 \quad (1)$$

ここで、 $MC_n$ :n cm 部分の含水率 (%)  
 $L_n$ :分担幅 (重み) (cm)  
 $n$  が 2、10、20~90、100、150~200 の  
 場合、 $L_n$  はそれぞれ、6、9、10、30、  
 50 とする。

加重平均値と①および②との関係を図-12 に示す。①、②のいずれも加重平均値よりも含水率が低めに計算され、①は 30 体中 28 体が含水率 20% 以下、30 体中 24 体が含水率 15% 以下、②は 30 体中 24 体が含水率 20% 以下、30 体中 22 体が含水率 15% 以下と判断される結果となった。また、②の計算結果の方が加重平均値との差が小さかった。

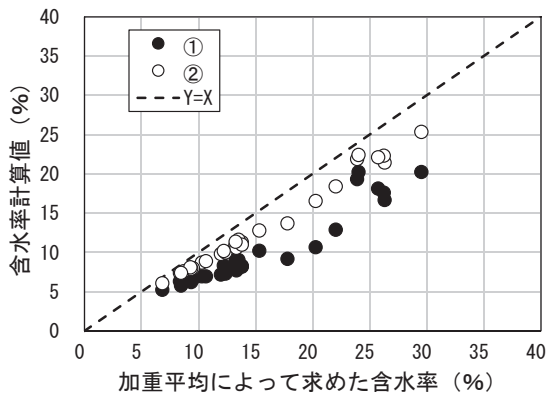


図-12. A 試験片の採取間隔に応じて求めた加重平均値と製材 JAS を参考に求めた含水率との関係

現状の製材 JAS の含水率試験方法は、人工乾燥材は材長方向に均一に乾燥されていることを前提にしているものと考えられるが、蒸気式乾燥法の場合は本試験結果のように材長方向にも含水率傾斜が生じていることから、人工乾燥材においても天然乾燥材と同様、格付けによる含水率試験を実施する場合は、両材端から 30cm の部分に加え材中央部の含水率も測定する方が望ましいと考えられる。

#### IV. おわりに

平角は住宅における梁や桁等、構造上重要な部分に使用されるため、含水率傾斜が大きい場合はその後の材の変形等による不具合を引き起こす可能性があり、また材端部の割れが大きい場合は接合強度に影響を及ぼすことになる。今後さらに材長方向の含水率傾斜や材端部付近に多く発生する内部割れを軽減するための対策に取り組むことが重要である。

#### 謝辞

本研究は農研機構生研支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業 (うち先導プロジェクト) (課題名:要求性能に応じた木材を提供するため、国産大径材丸太の強度から建築部材の強度を予測する技術の開発 (実施年度 H28~R2))」の支援を受けて行った。

#### 引用文献

- 「安全・安心な乾燥材生産技術の開発」研究グループ (2012) 「安全・安心な乾燥材生産技術の開発」研究グループ (2012) 推奨乾燥条件. (安全・安心な乾燥材の生産・利用マニュアル—内部割れのない乾燥材生産を目指して!—, 「安全・安心な乾燥材生産技術の開発」研究グループ). 14-33
- 河崎弥生・野上英孝 (2006) 品確法に対応するための高品質乾燥材の生産技術の開発 (V) —オープンラボ装置によるスギ平角材の複合乾燥法の開発—. 平成 18 年度岡山県木材加工技術センター業務報告書: 14-47
- 松元 浩・石田洋二・小倉光貴・加藤英雄・長尾博文・小林 功 (2021) スギ心持ち平角に対する適正な高温セット処理条件とその曲げ強度特性. 木材工業 76(11): 478-483
- 寺西康浩・海本 一・松元 浩・吉田孝久・古田裕三 (2016a) スギ心持ち正角に対する蒸気・高周波複合乾燥 (I) 高温セット時間が内部割れの発生に及ぼす影響. 木材工業 71(2): 52-57
- 寺西康浩・海本 一・松元 浩・吉田孝久・古田裕三 (2016b) スギ心持ち正角に対する蒸気・高周波複合乾燥 (II) 高温セット後の乾燥条件が内部割れ発生に及ぼす影響. 木材工業 71(5): 186-191
- 吉田孝久・橋爪丈夫 (2000) カラマツ及びスギ心持ち柱材の高温乾燥特性. 長野県林総セ研報 14: 1-18
- (一社) 全国木材検査・研究協会 (2015) 乾燥処理. (製材の日本農林規格並びに改正の要点及び解説. (一社) 全国木材検査・研究協会). 194-200
- (一社) 全国木材組合連合会 (2023) 人工乾燥材 (製材) に対するニーズ. (品質の確かな人工乾燥材の生産にむけて. (一社) 全国木材組合連合会). 1-6

# 流出量観測データは流域特性をどのように反映しているのだろうか？

## ー石川県林業試験場森林理水試験地における観測データと

### 他地域試験流域のデータとの比較ー

高瀬恵次\*・小倉 晃

流出量の観測は、様々な水に関わる計画・設計や気象変動など諸環境の変化が水循環に与える影響を評価する上で重要である。とくに、谷の収斂する地点で観測される流出量データは、その集水域内で生ずる流出特性だけでなく土壌特性、さらには蒸発散特性など多くの流域特性を反映する貴重なデータである。本研究では、筆者らが観測を行ってきた4流域の流量データを解析し、それぞれの流域の特性と比較・検討した。その結果、石川県林業試験場の流域は雨水保留能が大きく、整備された人工林であることから流況も安定していることが示された。しかし、観測堰以外からの地下水流出の有無、積雪・融雪期の流出特性については今後さらなる検討が必要である。

キーワード：水収支、蒸発散、直接流出量、水循環モデル、森林流域

#### I. はじめに

流出量の観測は、様々な水に関わる計画・設計のみならず気象変動をはじめとする諸環境の変化が水循環に与える影響を評価する上で重要である。とくに、谷の収斂する地点で観測される流出量データは、その集水域内で生ずる地表、中間、地下水流出特性だけでなく土壌の浸入・保水特性、さらには蒸発散特性など多くの流域特性を反映する貴重なデータである。石川県農林総合研究センター林業試験場（以下、林業試験場）では2010年から気象露場や森林理水試験地を設置し、気温をはじめとする各種気象データと試験流域からの流出量の観測を行っている。そこで本研究では、林業試験場における観測データと筆者らが観測を行ってきたいくつかの流域の流量データを解析し、それぞれの流域特性と比較することにより林業試験場森林理水試験地の特徴を検討したので以下に報告する。

#### II. 観測流域の概要

解析対象とした流域の概要を表-1に示す。これらの流域は、諸水文調査のために設けた調査流域で、谷の収斂した部分に堰を設置して自記水位計により

観測を行っている。

A 流域は、石川県白山市三宮に位置し、50～70年生のスギを主とする人工林で2011～2012年に間伐が行われている。土壌調査によれば表層土壌(A<sub>0</sub>、A、B層)の厚さは1m程度である。流出量の観測は2010年に開始されたが、2012年までは計器の異常等による欠測が多く、本論では2013年以降のデータを使用した。

B 流域は滋賀県信楽に設けられた流域である。コナラ、エゴノキ、ウリカエデなどの高木性落葉広葉樹の下に、ヤブツバキやヒサカキが繁茂している。表層土壌厚は30cm程度である。

C 流域は愛媛県大洲市に位置し、スギ、ヒノキの人工林が52%を占め、残りは低木のヒサカキ、ヤブツバキ(常緑樹)やクヌギ、コナラの落葉樹が混在している。人工林の林齢は、スギが45～60年生、ヒノキが10～37年生で、ほとんどが未整備となっている。人工林地の表層土壌厚は30cm程度であるが、B流域に比べA<sub>0</sub>、A層が薄い。

D 流域はC流域の北およそ十数kmの位置にあり、国営農地造成事業により造成された畑地が流域の52%を占める。造成畑では冬に白菜、夏にスイカが

表-1. 解析に用いた試験流域の概要

流域名	県名	土地利用	面積(ha)	表層地質
A	石川	人工林(スギ・整備林)	3.08	安山岩質火砕岩
B	滋賀	広葉樹	2.45	花崗岩
C	愛媛	人工林(スギ、ヒノキ・未整備林)、広葉樹	21.00	砂岩粘板岩互層
D	愛媛	林地(針葉樹・48%)・造成畑地(52%)	11.70	黒色片岩・黒色千枚岩

\*石川県立大学(客員教授)

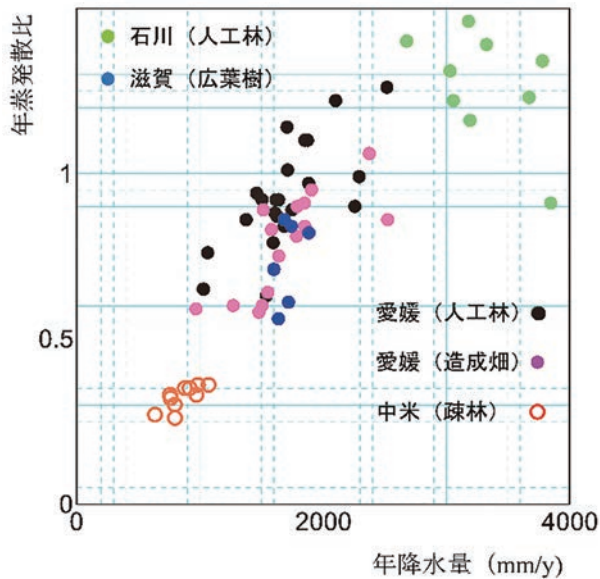


図-1. 年降水量と年蒸発散比

主に栽培されている。残りはマツ、スギを主とする山林地となっている。

### III. 年蒸発散特性

谷の収斂した地点に観測堰が着岩するように設置された流域で、流量観測点以外からの流出および流域外からの流入が無視できる場合には、年蒸発散量は次式によって算定できる。

$$Et = R - Q + \Delta S \quad (1)$$

$Et$ : 年蒸発散量  $R$ : 年降水量

$Q$ : 年流出量

$\Delta S$ : 流域内貯留量変化

本論では、暦年を対象として(1)式によって、年蒸発散量を求めた。図-1には年降水量と年蒸発散比(=年蒸発散量/年可能蒸発量)の関係を示す。年可能蒸発量については、A流域では流域に近接する気象露場での気象データを用いたペンマンの蒸発位(アルベド0.05)、B流域では流域から数km離れたアメダスデータを用いたペンマンの蒸発位、C流域とD流域では流域に近接する集落で観測された小型蒸発計蒸発量を採用した。なお、図-1には、中央アメリカ(ホンデュラス共和国)に位置する半乾燥地流域(疎林)での結果を併記している(高瀬・佐藤 1998)。ここでの可能蒸発量は、流域に近接する試験圃場での大型蒸発計蒸発量である。

このように、蒸発散比は降水量とともに増加し概ね2,500mm程度で一定となる傾向が見られ、蒸発散が流域の乾湿の影響を強く受けることを反映してい

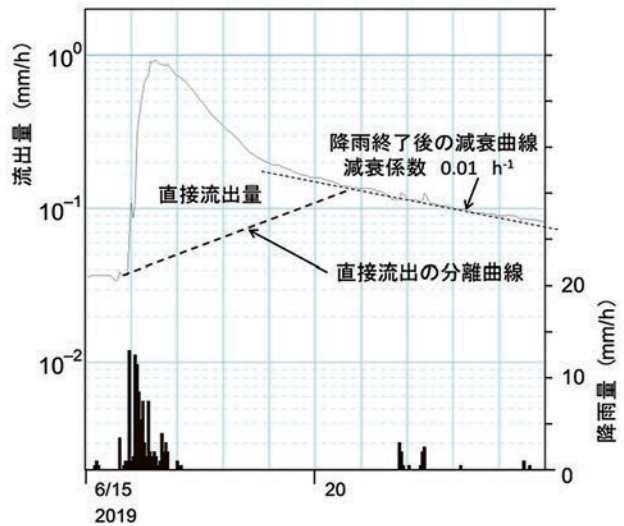


図-2. 直接流出量の分離例

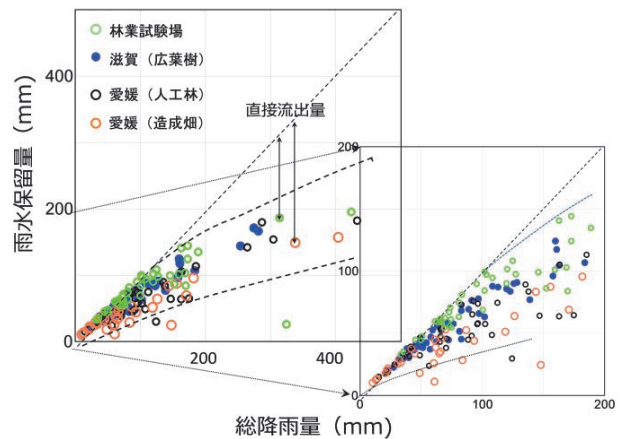


図-3. 総降雨量と雨水保留量の関係

る。表-1に示した4流域を見ると、年降水量の減少(=流域の乾燥)に伴う蒸発散比の低下はB流域(広葉樹)とD流域(造成畑)で大きく、A流域(人工林・整備)とC流域(人工林・未整備、広葉樹)で小さい傾向にある。特に、年降水量が3,000mmを超えるA流域の蒸発散比はほとんどの年で1を超え、可能蒸発量を上回る蒸発散が生じていることを示しているが、観測堰以外から地下水が流出している可能性もあり、後に述べる水循環モデルによる解析結果および可能蒸発の定義と併せて今後の課題とする。

### IV. 直接流出特性

直接流出量とは、主として降雨中に生ずる表面流出や早い中間流出からなり、洪水災害や土砂崩壊などに関連する重要な指標である。降雨終了後の流出量は、それぞれの流出成分に応じた固有の減衰率で減少することが知られている。そこで、本論では、図-2の直接流出量の分離例に示すように降雨終了後数時間から数日後に現れる減衰率 $0.01 \text{ h}^{-1}$ を採用して、



降雨後にこの低減曲線が出現する点と流出量の立ち上がり点とを直線で結ぶ分離線によって直接流出量(QD)を求めた(高瀬ら 1998)。

図-3には総降雨量(R)と雨水保留量(R-QD)の関係を示す。このように、どの流域も総降雨量の増加とともに直接流出量は増大する傾向にあるが、その関係は降雨強度、降雨継続時間、流域の初期湿潤状態などの降雨イベントの特性だけでなく、流域によっても異なる。このうち総降雨量に対する直接流出量の関係を流域間で比較すれば、D流域(造成畑地)が最も大きく、C流域(人工林・未整備、広葉樹) < B流域(広葉樹) < A流域(人工林・整備)となるような傾向を読み取ることができる。D流域の造成畑地では耕作道やビニールマルチなどの不浸透域が直接流出量を増大させるのに対して、A流域の林業試験場のように整備された人工林では降雨時の雨水を表層土壌が保水し、下層へと浸透させるためであると考えられる。

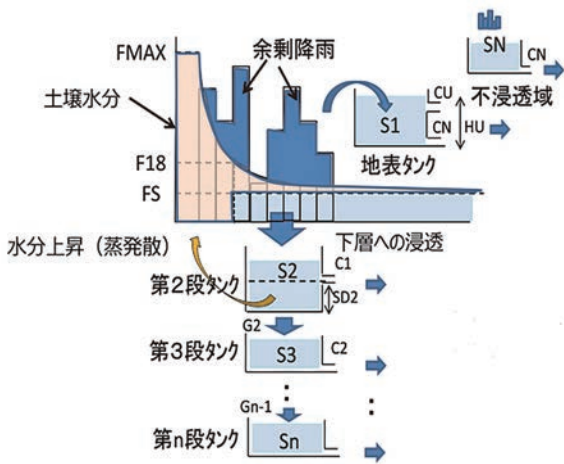


図-4. 水循環モデルの概念図

表-2. 水収支モデルによる年蒸発散比

年降水量 (mm)		1735.50	1032.00
可能蒸発量 (mm)		910.40	1150.90
蒸 発 散 比	A (林業試験場)	0.98	0.82
	C (愛媛人工林)	0.95	0.80
	D (愛媛造成畑)	0.93	0.79
	B (滋賀・広葉樹)	0.74	0.62

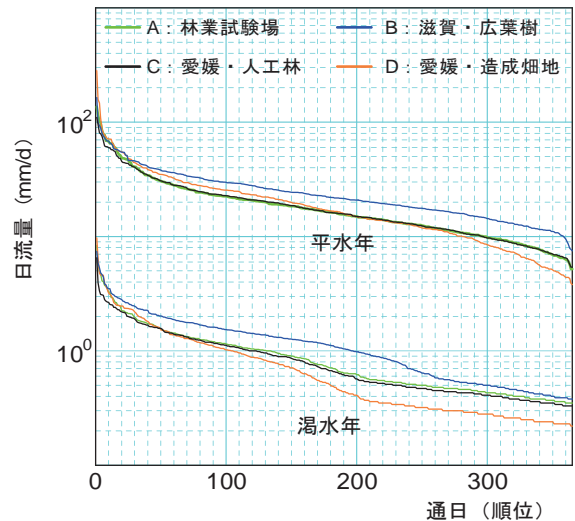


図-6. 流況曲線の比較

## V. 水循環モデルによる流出特性

最後に、図-4のような水循環モデルによりそれぞれの流域の流出特性および蒸発散特性を評価した。このモデルでは地表の浸入特性と土壌水分の変化をホートンの浸入能方程式で表現し、表層土壌の保水性や土壌水分の大小に応じて蒸発散比が変化する現象がモデル化されている(竹下ら 2003)。本論では、それぞれの流域において実測流量と計算流量の相対誤差が最小となるようにモデルパラメータを同定し

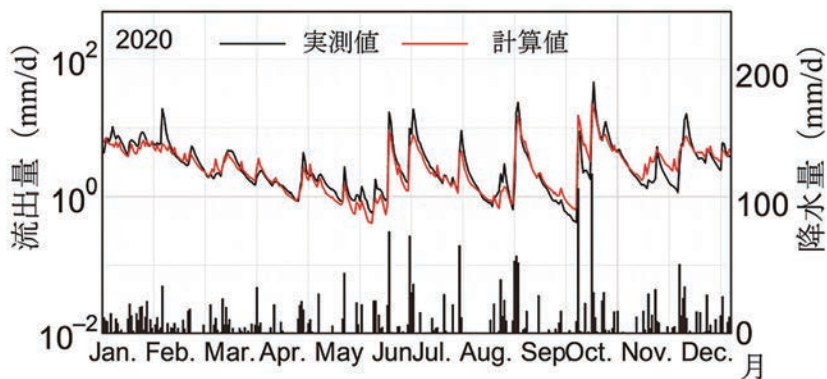


図-5. 水循環モデルによる計算流出量と実測値の比較例 (A流域: 石川県林業試験場)

注) 冬～春の積雪・融雪期の計算は、降雨として入力しているため、この期間の再現性は劣る。

た。その結果、いずれの流域においても平均相対誤差は30%程度で、良好な再現性を得ることができた。図-5には水循環モデルによるA流域での2020年の計算流出量と実測値の比較例を示す。ただし、A流域（石川県）では冬から春に積雪・融雪があるが、今回の計算では全て降雨として扱ったので、積雪・融雪期の再現性はやや劣る。その後、年降水量1735.5mmを平水年、1032.0mmを渇水年とし、それぞれの年の日降水量、日可能蒸発量データを用いて、各流域における流出量を計算した。表-2には、計算により得られた年蒸発散比を示す。年蒸発散量は $B < D < C < A$ となり、いずれの流域も渇水年では蒸発散比がかなり減少することが示された。また、図-6には流況を示す。流況の安定度は $D < B < A < C$ となり、広葉樹、人工林（整備）、人工林（未整備）、造成畑の順に流況の安定することが示された。

以上のように、流域特性に応じて流域水循環の諸要素が異なるので、それぞれの流域の特性を正確に

把握することが水資源の保全にとって重要である。なお、石川県林業試験場は、土壌厚が深くいために雨水保留量が多く、整備された人工林のため流況も安定する流域と考えられる。しかし、観測堰以外からの流出の有無、積雪・融雪期の流出特性については課題があり、今後とも流域水循環の諸要素の特性を正確に把握する必要がある。

#### 引用文献

- 高瀬恵次・洪林・佐藤晃一・黄介生（1998）特性の異なる流域の雨水保留量に関する水収支的考察．農業土木学会論文集 197： 65-70
- 高瀬恵次・佐藤晃一（1998）乾季・雨季を伴う中米半乾燥地域と我が国寡雨地帯における流域蒸発散特性．水文・水資源学会誌 11（7）： 694-701
- 竹下伸一・高瀬恵次（2003）蒸発散サブモデルを導入した長期間流出モデルの開発．水文・水資源学会誌： 16（1）： 23-32

## 石川県産少花粉スギ着花促進のためのジベレリン処理の時期と回数

## —第1報—

小倉 晃

## I. はじめに

全国のスギ花粉症の有病率は38.8%とスギ花粉症対策は全国的な課題となっており、国は花粉発生源対策として、①花粉を飛散させるスギ人工林等の伐採・利用、②花粉の少ない苗木による植替えや広葉樹の導入、③花粉の発生を抑える技術の実用化を進めている(石川県2021)。石川県でも花粉の少ないスギ(以下少花粉スギ)苗木への植替えによる花粉症対策も行っている。植替え用の少花粉スギの苗木生産のためには、安定的な種子生産も重要事項の1つである。石川県では少花粉スギ品種のミニチュア採種園を整備し、10年生以下の母樹にジベレリン処理を行い、雄花、雌花を着花させ主に人工交配させている。しかし、少花粉スギは平年では雄花を全く着けないかごくわずしか着けず、花粉飛散量の多い年でもほとんど花粉を出さない品種(林野庁2023)特性のため、従来の精英樹のジベレリン処理方法では雄花の着花量に年によるばらつきがあり、安定的にかつ効率的に人工交配を行うための花粉を採集することが行えず、種子生産にも問題が生じている。石川県での従来の精英樹採種園では、100ppmのジベレリン水溶液の葉面散布を7月中旬と7月下旬に行っていたが、このスケジュールで行ったミニチュア採種園の少花粉スギの雄花着花量は十分な量が得られなかった。既存の研究では雄花は6月、雌花は8月頃の処理で多く誘引される傾向があるとされている(橋詰1962)が、地域や品種、年で異なるようである(田中2021)。

そこで、石川県産少花粉スギ品種にあった安定的にかつ効率的に着花させる方法を確立させるために、ジベレリン処理の時期と回数について検討したので、その結果について報告する。

## II. 方法

供試木は石川県羽咋郡志賀町火打谷地区にある石川県緑化センターのミニチュア採種園に植栽している少花粉スギ(河北4号、金沢署101号)のうち、前年度にジベレリン処理を実施していない28本

(うち河北4号は13本、金沢署101は15本)である。ジベレリン処理は100ppmのジベレリン水溶液を動力式噴霧機により母樹全体に散布した。散布量は葉から溶液が滴り落ちる程度とし、令和4年6月28日、7月13日、7月29日の風の弱い晴天の日に行った。なお、処理の回数と処理日および本数は表-1のとおりである。また、着花量については各母樹に着花した雌雄花が全枝の何割の枝についているかを雌雄別に目視で判断した。樹高と胸高直径については、着花後に測桿ポールとデジタルノギスで測定した。

表-1. ジベレリン処理の回数、時期および本数

処理回数	処理日	供試本数	
		河北4号	金沢署101号
1回	6/28	2	2
1回	7/13	2	2
1回	7/29	2	2
2回	6/28	5	7
	7/29		
3回	6/28	2	2
	7/13		
	7/29		

## III. 結果および考察

ジベレリン処理を行った母樹の大きさは、平均樹高404.2cm、平均胸高直径6.0cmであった。各処理方法による着花割合について図-1および2に示す。1回散布のものは、散布時期が遅くなるにつれて着花量が減少し、雄花の割合も低くなっている。また、ジベレリン処理の回数が増えると着花量は増え、2回散布の場合は、雄花の割合も雌花とさほど変わらなかったが、3回散布の場合は、雄花の割合が低くなり、雌花の割合が非常に高くなった。金沢署101号ではその傾向が顕著にみられた。今回の処理数は、適正な時期と回数を決定するには非常に少ない処理本数であるが、早い時期のジベ

レリン処理は雄花を誘引し、遅い時期の処理は雌花を誘引する従来の研究結果（橋詰 1962）と同じであった。

ミニチュア採種園内の植栽木だけでの自然交配となると、雌雄両花とも多く着花させなくなってしまう。しかし、石川県では授粉前に雌花の多くついている枝に袋掛を行い、別途花粉を採集し、人工交配を行う。なお、袋掛け作業は自家受粉させないために雄花を除去してから雌花を多くついている枝に袋掛けを行う。花粉採集は雄花の多い枝を持ち帰り、袋掛けを行い、恒温室で袋掛けした枝を水差しし、開花させ、袋内の花粉を集める。これらの作業は多くの時間と労力が費やされる。また、少花粉スギから多くの花粉を採集することは非常に困難である。このようなことから、人工交配を行う場合、雄花だけを沢山つける枝、雌花だけを沢山つける枝があることは、人工交配の準備が非常にやりやすくなる。よって、ジベレリン処理を実施する時期と回数により雌雄の着花割合をコントロールするとは、今後の少花粉スギの種子生産の省力化に向けて非常に有意義である。

なお、着花特性は年によって異なる（田中 2021）ようで、時期も大事であるが、その年の気象条件も重要になってくるようである。令和4年6月～8月の北陸地方の気象特徴は、6月：梅雨前線の影響は小さく、かなりの多照 かなりの高温 少雨、7月：高気圧に覆われ晴れた日が多く、多照 かなりの高温、8月：晴れは長く続かず記録的な大雨、であった（新潟地方気象台 2023）。このような気象特性でのジベレリン処理であったこともふまえて、今後もジベレリンの処理する時期と回数による着花特性をその年の気候条件とともに解明し、効率の良い種子生産性が向上する方法を検討していきたい。

### 引用文献

橋詰隼人（1962）スギの花芽分化および花芽の発育過程について．日本林学会誌 44： 312-319  
 石川県（2021）いしかわ森林・林業・木材産業振興ビジョン 2021： 53  
 新潟地方気象台（2023）北陸地方の季節のまとめ。  
<https://www.data.jma.go.jp/niigata/menu/>

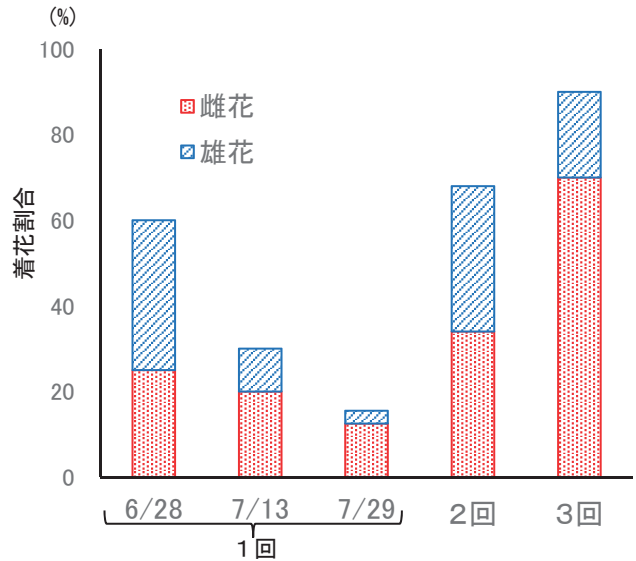


図-1. ジベレリン処理の回数（時期）と着花割合（河北4号）

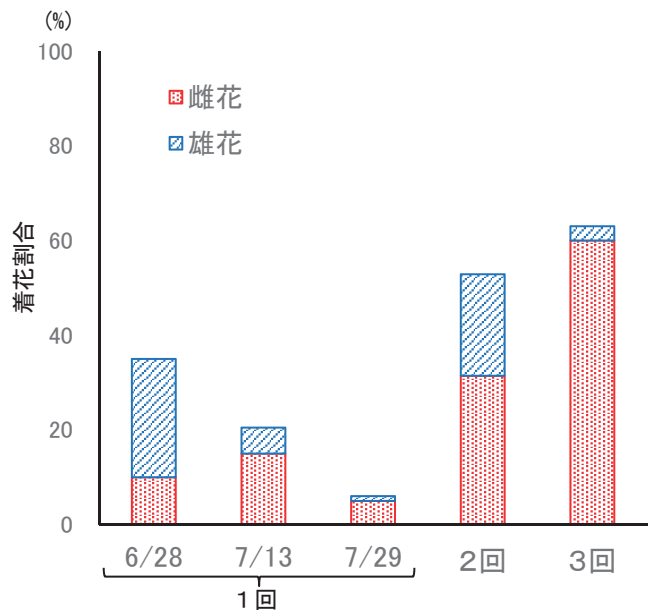


図-2. ジベレリン処理の回数（時期）と着花割合（金沢署101号）

kisetsu.html（2023年3月25日参照）  
 林野庁（2023）花粉の少ない苗木を植えよう。  
[https://www.rinya.maff.go.jp/j/sin\\_riyou/kafun/hinsyu.html](https://www.rinya.maff.go.jp/j/sin_riyou/kafun/hinsyu.html)（2023年3月25日参照）  
 田中功二（2021）無花粉スギの効率的な種子増産を図るためのジベレリン処理方法の検討．森林遺伝育種 10： 97-101



## 抵抗性クロマツ採種園において球果を加害する マエジロクロマダラメイガの出現

江崎功二郎

### I. はじめに

石川県では海岸林整備のため抵抗性マツ品種の作出とともに、採種園を整備し種子生産を行ってきた。2015年頃から抵抗性マツ採種園において小蛾類による球果の著しい穿孔被害が発生した(図-1)。



図-1. 被害球果に穿孔する幼虫(矢印)

この被害は球果の肥大を抑制するか、一部の變形をもたらし、種子の収穫に明らかに影響を与えた。被害種の特定のため被害球果から成虫を羽化させ同定を行った。その結果、主に出現した小蛾は球果を加害する種として従来から知られていない種であった。本報告ではこの種の被害の特徴や発生消長を示し、採種園での生活史について考察を行った。

### II. 材料と方法

2020年10月下旬～11月に石川県緑化センター

(志賀町火打谷)の抵抗性マツ採種園(9～14年生12品種244本)において、種子収穫のため球果を採集した(16.4千個)。採集球果を被害の有無によって分け(被害率14.3%)、種子の収穫が見込めない被害球果を大型プラスチック容器(50×35×25cm)に半分程度入れた。収穫翌年の2021年5～7月まで数日ごとに出現した成虫を捕獲した。

### III. 結果と考察

被害球果からマエジロクロマダラメイガ *Assara funereella* (以下、マエジロ)(図-2)およびマツツアカシムシ *Retinia cristata*がそれぞれ62および2頭出現した。前者は2021年6月6日～7月21日の間で6月中旬にピークが見られ1山型を示した(図-3)。後者は6月3日および20日に出現した。マエジロは県内の夜間ライトトラップによる採集では標高400m地点での記録が多く、5～9月まで採集され1年2化の発生と推測されている(富沢2020、2022)。そのため、今回の出現は1化目の消長を示していると思われる。

マツの雌花は春季に受精し、翌年秋に球果を成熟させる。被害は1年目の球果でも発生していると思われ、成熟しない球果の被害を加えると、本種被害率は過小評価されている可能性がある。

マツ採種園において球果を加害する小蛾類は古くから知られてきたが何れも種も梢頭部を同時加



図-2. 被害球果から出現したマエジロクロマダラメイガ(左)と展翅個体(右)



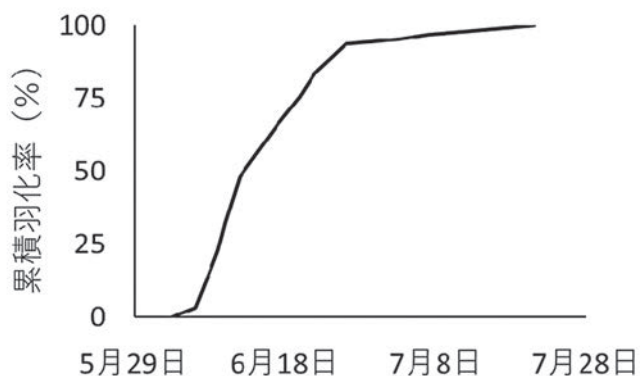


図-3. マエジロクロマダラメイガの発消長

害することが知られる（例えば、佐藤 1978）。しかし、本採種園では球果被害のみが目立ち、マエジロはマツ球果のみに穿孔被害を発生させるスペシャリストであると考えられた。

本調査によりマエジロは抵抗性クロマツ採種園において球果の収穫を著しく減少させる種であることが明らかになった。樹幹注入剤などによる防除技術の開発が早期に求められる。

### 謝辞

富沢 章氏には種同定および文献についてご教授いただいた。厚く御礼申し上げます。

### 引用文献

- 佐藤平典（1978）マツ類のしんくいむし類の被害と防除．岩手県林業試験場成果報告 11： 21-25
- 富沢 章（2020）石川県の蛾類．自主出版
- 富沢 章（2022）石川県産蛾類の採集記録に基づく垂直分布と化性の考察IV－メイガ上科．YUGATO 246： 143-147

## 能登地域において原木シイタケを加害するキノコバエ3種

山崎美佳\*・江崎功二郎

### I. はじめに

石川県の奥能登地域（輪島市、穴水町、能登町、珠洲市）では、豊富な広葉樹林の資源を生かして原木シイタケの栽培がおこなわれてきた。この地域における2021年産の原木生シイタケ年間生産量は約7.7トン、原木乾シイタケ年間生産量は約6.4トンである（石川県農林水産部森林管理課2022）。



図-1. キノコバエに食害されたシイタケと食害痕（矢印）

近年、能登地域の原木シイタケにおいて、キノコバエ類による被害が発生し（図-1）、その対策が課題となっていた。しかし、これまで被害を発生させているキノコバエの種構成については明らかにされていない。キノコバエの種の確定は防除対策において必須である。

キノコバエ科の幼虫はシイタケを食害するほ



か、幼虫が付着したシイタケは異物混入となり商品価値を低下させる。原木シイタケを加害する種として、ナカモンナミキノコバエ *Mycetophila ruficollis*（以下、ナカモンナミ）（付図-1）、フタモントンボキノコバエ *Exechia insularis*（以下、フタモントンボ）（付図-2）、シイタケトンボキノコバエ *Exechia shiitakevora*、（以下、シイタケトンボ）（付図-3）が知られている（岩崎・石谷2005；村上2007；末吉2014）。ナカモンナミとシイタケトンボは北海道から九州まで広く分布し、フタモンは関東から九州まで記録があるが（末吉2014）、これらの種は石川県では未記録であった（石川むしの会1998）。

本報告では食害された原木シイタケより、キノコバエ類の成虫を発生させ、村上（2011）、末吉（2014）および付図-1～3により種同定を行った。また、捕獲器をホダ場に設置し、林内と林縁との間で捕獲種について比較を行った。

### II. 材料と方法

2021年11～12月までに生産者より提供された食害シイタケを飼育容器入れ、直射日光を避けた室内でキノコバエ成虫を発生させた。飼育容器はプラスチック透明カップ（底面径10.0cm、上面径12.0cm、高さ8.5cm）のフタ中央を約5×3cm角に切り取り、もう1つのフタなしの透明カップ（同サイズ）を開口部に貼り合わせて作成した。羽化した成虫は下カップのフタの窓から上カップ



図-2. 食害シイタケから羽化したナカモンナミキノコバエの雌（左）およびシイタケトンボキノコバエの雄（右）

に移動させて捕獲した。飼育容器内に子実体の腐敗過程で水分が発生し溜まるため、乾燥ミズゴケによって水分を吸収させた。

2022年10月29日～11月30日まで、穴水町甲および下唐川の原木シイタケのホダ場に捕虫器（甲：吸引式捕虫器 CL-206、西部電機工業（株）製；下唐川：吸引式 LED 捕虫器スマートキャッチャー、みのる産業（株）製）を林内と林縁に設置

し、捕獲種の比較を行った。

### Ⅲ. 結果と考察

11月7日～12月27日に提供された被害子実体から、ナカモンナミ（図-2 左）、フタモントンボおよびシイタケトンボがそれぞれ8（雄6雌2）頭、48（雄13雌19?16）頭および16（雄6雌10）頭が羽化した（表-1）。同定できなかった

表-1. 食害シイタケから羽化したキノコバエ3種

被害シイタケ		羽化成虫						捕獲日	
場所	回収日	ナカモンナミ キノコバエ		フタモントンボ キノコバエ			シイタケトンボ キノコバエ		
		♂	♀	♂	♀	?	♂		♀
能登町字瑞穂	11月11日						1		11月24日
穴水町甲	11月14日							1	11月26日
		5	2						11月25日
穴水町下唐川	11月7日	1							11月26日
								1	11月29日
	12月13日						3	7	12月27日
七尾市能登島	12月17日			4	4				1月11日
	12月27日			9	15	16			1月11日
能登町字宇出津	11月16日						2	1	11月26日

表-2. 捕虫器で捕獲されたキノコバエ3種

場所	設置 期間	林縁 or 林内	捕獲										
			ナカモンナミ キノコバエ			フタモントンボ キノコバエ			シイタケトンボ キノコバエ				
			♂	♀	?	♂	♀	?	♂	♀	?		
	10月29日 ~ 11月1日	林内			2								
		林縁											1
	11月1日 ~ 11月14日	林内	1	4	4								3
		林縁	3	1									
穴水町甲	11月14日 ~ 11月22日	林内											
		林縁											
	11月22日 ~ 11月30日	林内											
		林縁											
	10月29日 ~ 11月2日	林内											
		林縁											
	11月2日 ~ 11月14日	林内				4		4					
		林縁	3		2								
穴水町下唐川	11月14日 ~ 11月22日	林内											
		林縁									1	5	1
	11月22日 ~ 11月30日	林内											1
		林縁											

種が1頭あった。

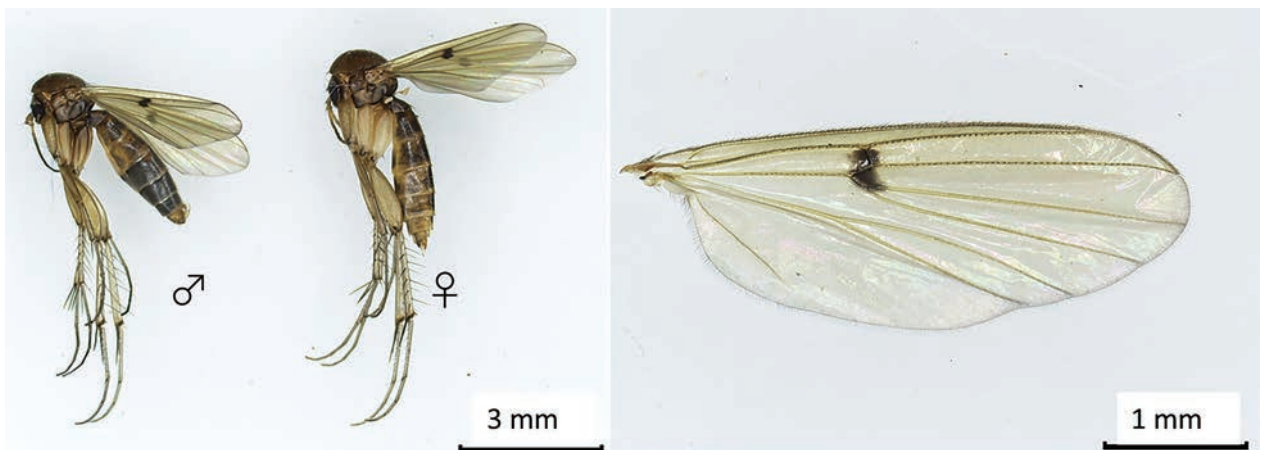
捕虫器ではナカモンナミ、フタモントンボおよびシイタケトンボがそれぞれ20(雄7雌5?8)頭、8(雄4?4)頭および12(雄1雌10?1)頭が捕獲された(表-2)。同定できなかった種が9種以上あった。加害種の捕獲数は多くなく、林内と林縁で捕獲種および数の違いは明確ではなかった。

今回の調査結果から穴水町、七尾市および能登町の生産地でのシイタケ被害はナカモンナミ、フタモントンボおよびシイタケトンボの3種によるもの特定された。フタモントンボは千葉県で大発生した記録があり(岩澤・石谷 2005)、シイタケトンボとともに九州地方では重要な被害種である(村上 2011)。これらの種は県内でも広範囲に分布すると思われる(末吉 2014)、他の生産地でも被害発生に注意が必要になる。

ナカモンナミはスギ・ヒノキ人工林のホダ場で集中分布しており、シイタケトンボは森林のどの場所でも分布しているが木の根返りに集まる習性をもつため、これらの分布特性を利用した捕虫器設置などによる捕獲駆除の可能性が示されている(末吉 2018a, b)。しかし、ホダ場の林内外に設置した捕獲器では捕獲数は多くなく、捕獲器の設置のみでは実用的な防除は困難であることが示された。その一方で、ホダ場の草刈りや腐敗したシイタケの除去が有効な予防法であるとされている(村上 2011)。

### 謝辞

室木芳憲氏、山方正治氏、八島武志氏および奥能登原木しいたけ活性化協議会員の皆様には調査にご協力いただいた。杉本博之氏にはキノコバエ種同定に関する情報および写真の提供いただいた。



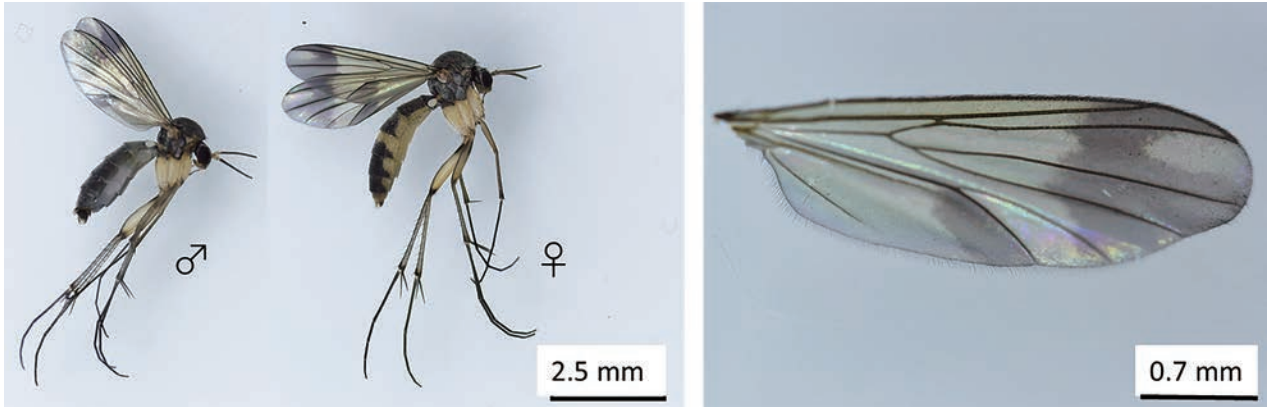
付図-1. ナカモンナミキノコバエの雄雌の違いと前羽の黒紋

厚く御礼申し上げる。

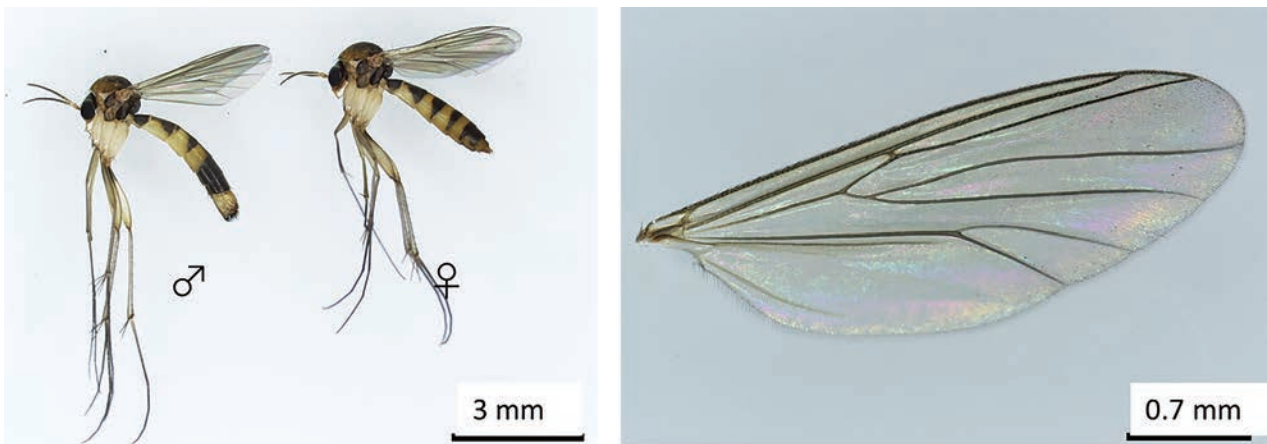
### 引用文献

- 石川県農林水産部森林管理課 (2022) 石川県特用林産物需給動向 (平成 23 年～令和 3 年). 石川県
- 石川むしの会 (1998) 石川県の昆虫. 石川県
- 岩澤勝巳・石谷栄次 (2005) 露地発生の原木シイタケ子実体に発生した *Exechia insularis* (フタモントンボキノコバエ) の被害. 日本森林学会関東支部大会発表論文集 56: 191-192
- 村上康明 (2007) 原木シイタケを加害するキノコバエについて. 九州森林研究 60: 13-17
- 村上康明 (2011) 原木シイタケを加害するキノコバエ類. (きのこの害虫防除マニュアル. 九州地区林業関係試験研究機関連絡協議会きのこ害虫分科会). 18-21
- 末吉昌宏 (2014) 九州・山口・沖縄の栽培シイタケを加害するキノコバエ類. 九州の森と林業 107: 1-3
- 末吉昌宏 (2018a) シイタケ栽培地の森林植生がキノコバエ類 (双翅目) 群集に及ぼす影響. 昆虫 (ニューシリーズ) 21: 85-100
- 末吉昌宏 (2018b) キノコバエ類と森林植生. 九州の森と林業 123: 1-3





付図-2. フタモントンボキノコバエの雄雌の違いと前羽の薄黒紋



付図-3. シイタケトンボキノコバエの雄雌の違いと前羽の黒紋

付図の提供は杉本博之氏による。

# BULLETIN

OF THE

ISHIKAWA AGRICULTURE AND FORESTRY RESEARCH CENTER

FORESTRY EXPERIMENT STATION

No. 54

リサイクル適性 

この印刷物は、印刷用の紙へ  
リサイクルできます。