

**BULLETIN OF THE
SHIMANE PREFECTURE MOUNTAINOUS
REGION RESEARCH CENTER**

**No. 18
October 2022**

島根県中山間地域研究センター研究報告

**第18号
令和4年10月**

SHIMANE PREFECTURE MOUNTAINOUS REGION RESEARCH CENTER

IINAN, SHIMANE, 690-3405, JAPAN

島根県中山間地域研究センター

島根県飯石郡飯南町

報告書の種類

総説：特定の題目について著者や他人の研究をまとめたもの。

論文：研究の結果をまとめ、これに考察と結論を与えたもの。

短報：小さいが新しい知見の速報，既知の知見の再認識，新しい研究方法などを短くまとめたもの。

資料：利用価値をもつ観察や試験データとその解釈。

島根県中山間地域研究センター研究報告

第 18 号

令和 4 年 10 月

目 次

《論 文》

温水循環ヒートポンプと太陽熱を利用した木材乾燥技術の開発 片岡 寛嘉・甲斐田 武延・高山 司・石橋 正樹	1
石州半紙の原料とされている島根県産コウゾにおける標準的な生産成績の把握 －幹成長、原木収量および和紙原料としての歩留まり－ 大場 寛文・富川 康之	13

《資 料》

遮熱ハウス内の温度上昇が原因と考えられたシイタケ菌床栽培での収量減少と傘直径の増大 －気候変動が要因となった可能性と将来予測・対策－ 富川 康之・口脇 信人・大場 寛文	25
--	----

温水循環ヒートポンプと太陽熱を利用した木材乾燥技術の開発

片岡 寛嘉*・甲斐田 武延**・高山 司***・石橋 正樹****

Development of Wood Drying Technology Using Hot Water Circulating Heat Pump
and Solar Thermal Collector

KATAOKA Hiroyoshi*, KAIDA Takenobu**, TAKAYAMA Tsukasa*** and ISHIBASHI Masaki****

要 旨

島根県産スギ心持ち平角を供試材とし、高温セット処理と中温乾燥との組合せ乾燥方法について検討した。中温乾燥では、島根県中山間地域研究センターで試作した熱源に空気熱源温水循環ヒートポンプと太陽熱集熱器を用いた木材乾燥機と、熱源に従来のA重油ボイラを用いた蒸気式乾燥機とを比較した。それぞれの乾燥方法で乾燥材の品質、省エネルギー性能、省CO₂性能およびランニングコストを調査した。その結果、高温セット処理を2日間実施した後、試作した木材乾燥機を用いて中温乾燥を18日間行い、合計20日間で供試材の含水率は70%から16%に低下し、製材の日本農林規格の含水率基準であるD20(20%以下)を満たした。また、乾燥材の収縮率、材面割れ、内部割れおよび材色についても、蒸気式乾燥機の場合と比較して同等以上の品質を示す結果が得られた。試作した木材乾燥機は蒸気式乾燥機の約2倍の乾燥日数を要したが、乾燥材としての品質を維持し、一次エネルギー消費量を56%削減、CO₂排出量を54%削減、ランニングコストを60%削減できることがわかった。ただし、太陽熱によるランニングコストの削減効果は限定的であった。
キーワード：木材乾燥、ヒートポンプ、太陽熱集熱器、高温セット処理、ランニングコスト

I はじめに

島根県で導入が進みつつある木材乾燥機の多くは高温蒸気式乾燥機であるが、消費エネルギーが大きくまた熱源に灯油やA重油を用いるため、高いランニングコストが課題となっている。全国的にも、木材乾燥に係る化石エネルギー消費量やランニングコストを削減することが求められており、省エネルギー対策として、熱源機器と使用燃料の転換が提案されている((公財)日本木材加工技術協会, 2019)。

熱源機器と使用燃料の転換方法として、ヒート

ポンプや太陽熱を用いることが有効であると考えられている。豆田・藤島(2015)は、ヒートポンプ温水器が木材乾燥機の熱源機器として十分使用できることを報告している。また、池淵ら(2002)は、太陽熱を利用した木材乾燥について、ランニングコストの削減効果が高く、天然乾燥より乾燥期間が短いことを報告している。

島根県では乾燥材の品質確保と乾燥処理時間の短縮化のため、乾燥の前処理として材面割れの防止に効果がある高温セット処理を行った後、中温乾燥を

* 島根県農林水産総務課, **一般財団法人電力中央研究所, ***東芝キャリア株式会社, **** 島根県西部農林水産振興センター県央事務所

行う乾燥スケジュールを推奨している（島根県中山間地域研究センター・島根県農林水産部林業課，2021）。

そこで，本研究では空気熱源温水循環ヒートポンプと太陽熱集熱器を組み合わせた木材乾燥機（以下，エコ木材乾燥機と記す）を試作し，高温セット処理後の中温乾燥において，本機を使用した化石エネルギー消費量，CO₂排出量およびランニングコストの削減効果を従来の蒸気式乾燥機と比較検討した。また，乾燥材の収縮率，材面割れ，内部割れおよび材色についても評価した。

なお，本研究は平成 25～27 年度の 3 年間，島根県中山間地域研究センターと一般財団法人電力中央研究所および東芝キャリア株式会社が共同研究契約を締結し，実施したものである。

II 研究方法

1. エコ木材乾燥機の試作

エコ木材乾燥機の乾燥室の収容能力は，比較対象でもある島根県中山間地域研究センター所有の（株）新柴設備製高温蒸気式乾燥機 SKD-045PJr と同等の約 8 m³ とした。

図 1 に試作したエコ木材乾燥機の構造を平面設計図で示す。構成材料は，構造材に 105mm スギ正角，断熱材に 75mm 押出法ポリスチレン（別称：スタイロフォーム），外壁材にガルバニウム鋼板，内壁材にアルミニウム板を用いた。熱源機器として乾燥室東側にヒートポンプを設置し，また，日射量の多い南面に太陽熱集熱器を配置した。

図 2 にエコ木材乾燥機の構造を立面設計図で示す。

主熱源機器であるヒートポンプにより生成した温水を，モーターとファンおよび熱交換器で構成されている 3 台のユニットヒータ（図 1）に供給し，乾燥室内の空気を昇温するとともに，ファンにより空気を循環させる構造とした。採用したユニットヒータは，暖冷工業（株）製水平横吹き出し形 UH-404H であり，風量は 1 台当たり 45.8 m³/min である。これは，蒸気式乾燥機で一般に用いられている送風装置の風量 160 m³/min の約 29% の能力である（寺澤，1994）。また，南面に配置した太陽熱集熱器で外気を加熱し，屋根裏に設置した顕熱交換器を介し 2 台の送風機により乾燥室内へ供給する構造（図 3）とした。

図 3 にエコ木材乾燥機のシステム概略図を示す。主熱源機器であるヒートポンプには，東芝キャリア株式会社製 CAONS140 を採用した。CAONS140 は空気熱源温水循環ヒートポンプである。乾燥室を設定温度に維持することを目的に加温する場合には，温水循環式を用いる方が高い熱効率が得られるため本機を採用した。

また，併設した空気式太陽熱集熱器について，空気は水に比べ密度と比熱が低く，暖まりやすく冷めやすいため，蓄熱させることはせず，一過性で使用する場合に有利であると判断し，空気式を採用した。構造は平板型とし，透過板にポリカーボネート，集熱板は木材表面にアルミ箔を貼り付け黒くスプレーコーティングしたものを用いた。集熱器は 2 層から成り，外気は層間に施した細孔（φ 1.5mm，5,800 個）を通過して乾燥室内へ供給される。

(寸法単位：mm)

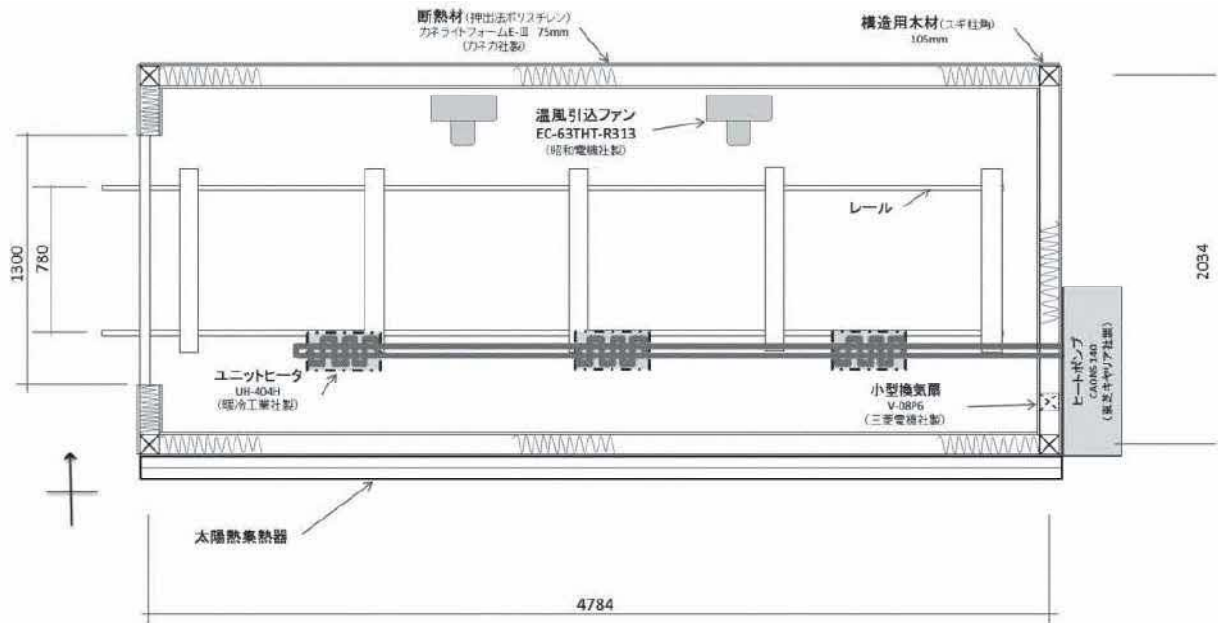


図1 エコ木材乾燥機の構造（平面設計図）

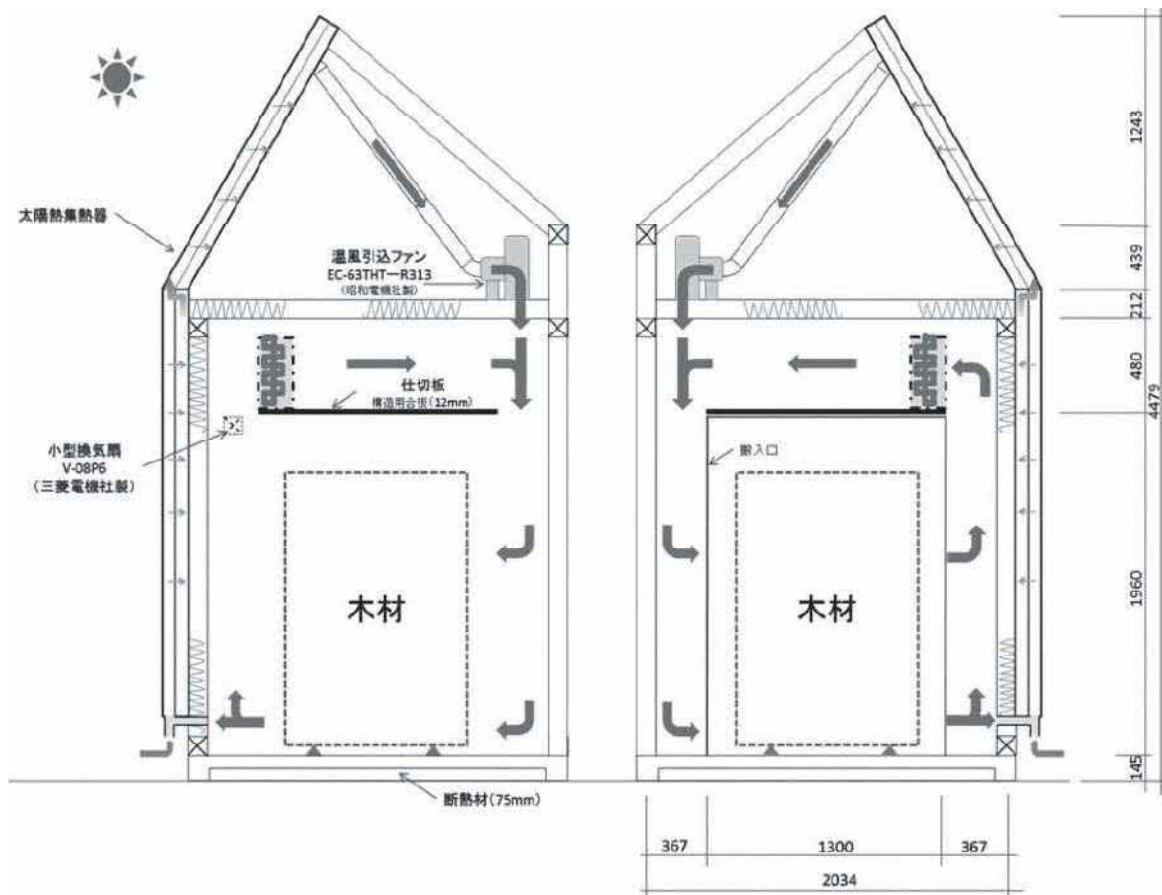


図2 エコ木材乾燥機の構造（立面設計図）

注：矢印は温風のとおり道のイメージを示す

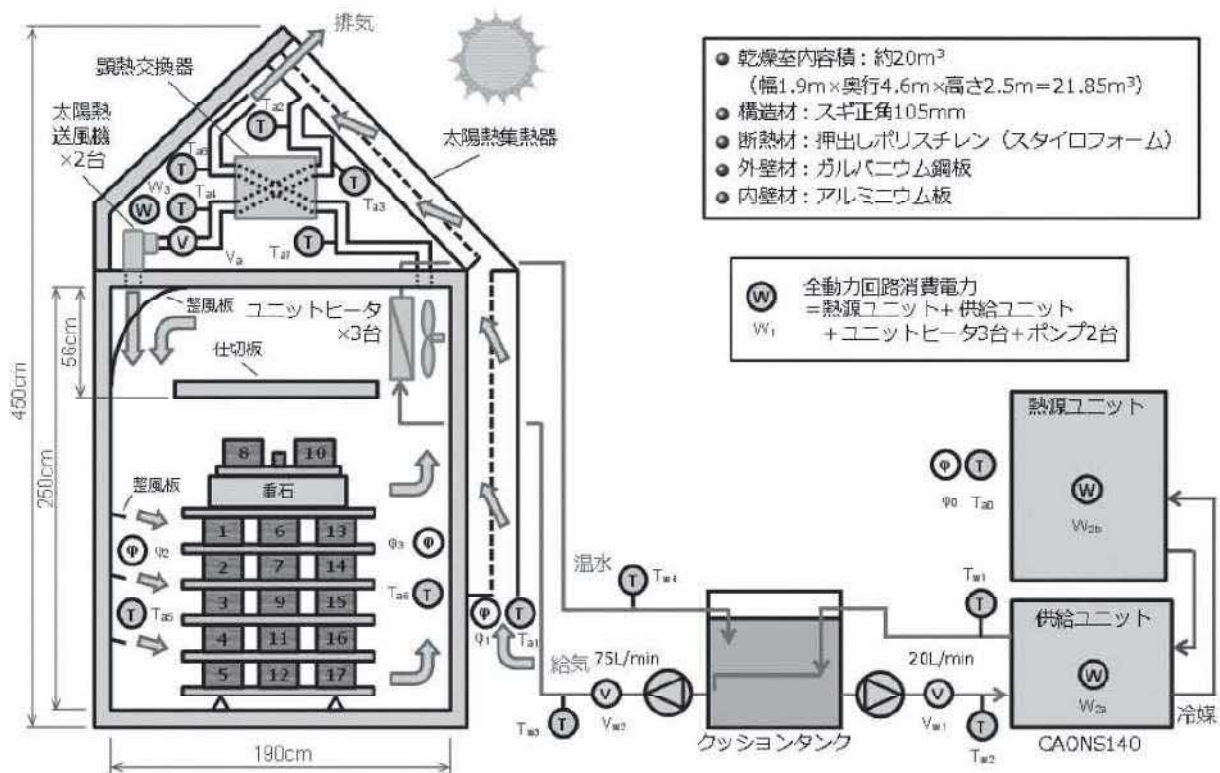


図3 エコ木材乾燥機のシステム概略図

注：Tは温度，Vは流量，φは風量を示す

2. 材料と方法

1) 供試材と乾燥方法

島根県雲南市にある飯石森林組合より末口径26～28cm，長さ4mの島根県産スギ丸太を108本入手した。入手した丸太の平均年輪幅，曲がり率，心材率，細り度，真円率を調査した後，自動送材車付き帯鋸盤により，130×225×4000mmの平角に製材した。次に3種類の乾燥方式の比較を行うにあたり，供試材

の初期含水率を揃えるため，1ロットの平角本数を36本とし，製材後重量の平均値と分散が等しくなるよう，エコ木材乾燥機での乾燥（以下，エコ乾燥と記す），蒸気式乾燥機での乾燥（以下，蒸気乾燥と記す）および天然乾燥の3つのロットにグループ分けした。そして，各ロットについて，表1のスケジュールにより高温セット処理を行った後，表2の3種類の乾燥試験条件により，平角の乾燥を実施した。

表1 高温セット処理のスケジュール

工程	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	操作時間 (h)
初期蒸煮	95	95	12
高温セット	120	90	24
降温	0	70	12

表2 乾燥試験条件

方式	エコ乾燥	蒸気乾燥	天然乾燥
温・湿度	乾球60°C /湿度無制御	乾球90°C /湿球60°C	外気温・湿度
乾燥日数	18日	12日	6ヶ月
平角本数	36本	36本	36本

2) 供試材に関する測定項目

エコ乾燥ロットの平角は高温セット処理および乾燥終了後に、蒸気乾燥ロットの平角は乾燥終了後に、天然乾燥ロットの平角は高温セット処理終了後に重量、寸法、材面割れをそれぞれ測定した。エコ乾燥ロットの平角と蒸気乾燥ロットの平角は乾燥終了後、屋外の屋根付き天然乾燥場で養生し、毎月の重量、寸法、材面割れの経時変化を3ヶ月間測定した。天然乾燥ロットは高温セット処理後6ヶ月経過するまで毎月の重量、寸法、材面割れの経時変化を測定した。なお、天然乾燥の実施期間は平成27年7月21日～平成28年1月21日である。

3) 材面割れの測定

供試材の材面割れの測定は、4材面に発生した目視で確認できる全ての割れについて、その最大幅と割れ長さを鋼尺で測定した。なお、測定は最大幅で0.5mm、割れ長さで1mmとした。

4) 内部割れの測定

平角1本当たり3枚採取した厚さ20mmの試験片を用いて、目視で確認できる全ての内部割れの最大幅と割れ長さを鋼尺で測定した。測定は最大幅で0.5mm、割れ長さで1mm単位とした。

平角の寸法は材面の中央部1か所で4材面を測定した。そして、養生または天然乾燥の期間が終了した後、全ての供試材について、図4に示すように、両端から300mm以上内側で、できるだけ節を避けて厚さ20mmの試験片を1枚ずつ丸鋸により採取した。併せて平角中央部で2枚採取し、供試材1本当たり計4枚試験片を採取した。中央部の試験片のうち1枚は丸鋸で採取する前に、平角をかんな盤で120mm×210mmの寸法に仕上げ加工した後、採取した。両端

から300mm以上内側で採取した試験片2枚と中央部で採取した試験片1枚については内部割れおよび全乾法含水率測定用とし、仕上げ加工を行って中央部で採取した試験片1枚については材色測定用とした。

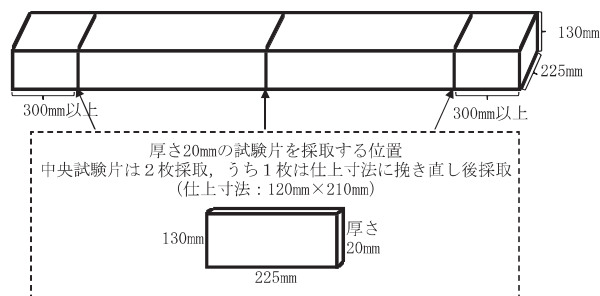


図4 試験片の採取位置と大きさ

5) 材色の測定

仕上げ加工を行った後に平角中央部で採取した厚さ20mmの試験片について、その材面の心材部2点、辺材部2点で材色の測定を行った。なお、測定には分光式色差計（日本電色工業（株）製SE2000型）を用い、CIE（国際照明委員会） $L^*a^*b^*$ 表色系により評価した。

6) エネルギーに関する測定項目

消費電力はヒートポンプの熱源ユニット、供給ユニット、太陽熱送風機を個別に計測するとともに、動力回路の全消費電力も計測した。動力回路全消費電力は、熱源ユニット消費電力+供給ユニット消費電力+太陽熱送風機消費電力（2台分）+ユニットヒータ消費電力（3台分）+ポンプ消費電力（2台分）で計算した。

加熱能力を算出するために、太陽熱集熱器の出入口温度と風量、ヒートポンプの出入口温度と水流量、ユニットヒータの出入口温度と水流量を計測した。水流量の計測には簡易渦式流量計（（株）オーバル製Eggs DELTA Pulse FLP25）を用い、空気風量の計測には熱式風量計（アズビル（株）製エア管理用メー

タ MCF0400) を用いた。温度センサはすべてT型熱電対を用い、集熱器出口温度は配管表面に貼り付けた。空気や水の温度は、シース熱電対を用いた直接接触により計測した。外気および乾燥室内の湿度は、相対湿度センサ (VAISALA (株) 製湿度温度プローブ HMP110) を用いて計測した。

III 結果と考察

1. 乾燥試験の評価

1) 丸太の外観特性

表3に丸太の外観特性調査結果を示す。平均年輪幅の平均値は4.2mm(標準偏差0.7mm)であった。これは、石橋・藤田(2011)の島根県産スギ素材の外観特性調査結果の報告では4.6mmであることから、同等程度の年輪幅を持ったスギ原木といえる。曲がり率、心材率、細り度、真円率の平均値はそれぞれ

4.5, 74.9, 84.5, 94.2%であった。石橋・藤田(2011)は、心材率49.9%と報告していることから、今回の供試材は心材の割合が多い原木であることも特徴である。

表3 丸太の外観特性調査結果

	平均年輪幅 (mm)	曲がり率 (%)	心材率 (%)	細り度 (%)	真円率 (%)
平均値	4.2	4.5	74.9	84.5	94.2
標準偏差	0.7	2.7	4.3	4.9	3.1
変動係数(%)	16.5	60.2	5.7	5.8	3.3
最大値	6.3	14.6	86.0	96.9	100.0
最小値	3.1	0.0	64.4	73.8	85.5

2) 乾燥条件別の乾燥経過

養生後および天然乾燥後に採取した含水率試験片の全乾法含水率をもとに、供試材重量から換算して求めた乾燥条件ごとの乾燥経過を図5に示す。生材時の含水率は、どの乾燥方法も70%程度であった。

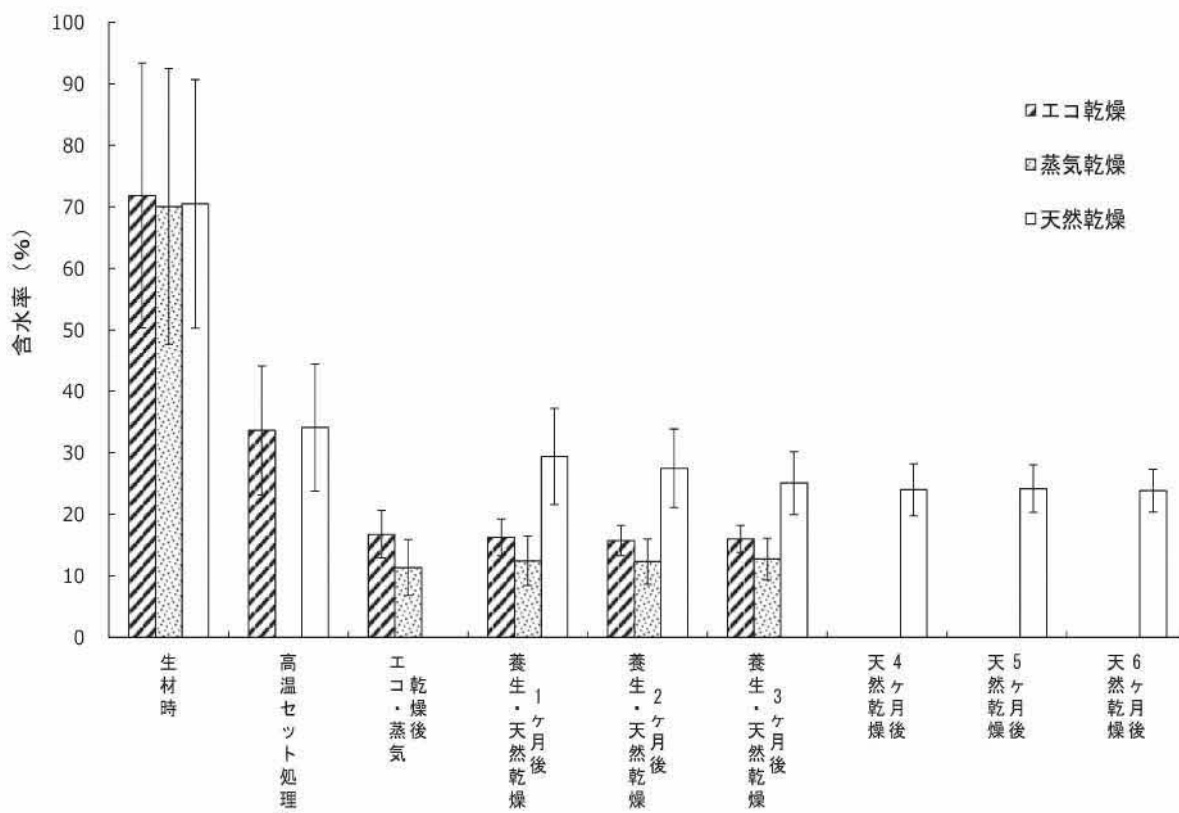


図5 乾燥条件ごとの乾燥経過

注：エラーバーは標準偏差

高温セット処理後はエコ乾燥、天然乾燥ともに35%程度となり、中温乾燥後はエコ乾燥では17%、蒸気乾燥では11%となり、ともに製材の日本農林規格の含水率基準であるD20(20%以下)を満たした。また、それぞれ養生後の含水率はエコ乾燥では16%、蒸気乾燥では13%であり、蒸気乾燥ロットは2%ほど上昇した。

一方、天然乾燥では乾燥後6ヶ月経過しても含水率は20%を超えており、D20を満たしたのは平角36本中1本であった。城井ら(2006)はスギ平角の高温セット処理後の天然乾燥で、含水率が20%以下まで低下するのに1年以上の長い時間を要すると報告している。このことから、今回の天然乾燥ロットの結果は特異なものではなく、平角乾燥材の生産拡大や安定供給のためには、高温セット処理後の中温乾燥を検討する必要性を裏付けるものと言える。

3) 収縮率の評価

乾燥条件別に高温セット処理後から養生後または天然乾燥後までの収縮率の変化を、供試材の幅とせい別に図6に示す。エコ乾燥では、乾燥後に幅、せいともに収縮率は増加し、その後の養生期間中の変化は少ないことから、平角断面寸法は安定しているといえる。蒸気乾燥では、乾燥後に平角の含水率が2%上昇したことから、養生1ヶ月後の幅の収縮率がやや低下したが、その後は安定していた。天然乾燥では、せいの収縮率が徐々に増加傾向を示し、含水率の緩やかな低下に伴い、せい方向の寸法が少しずつ減少していく傾向であった。

4) 材面割れの推移

養生後または天然乾燥後まで、平角4材面に発生した乾燥条件別の材面割れ面積の推移を図7に示す。

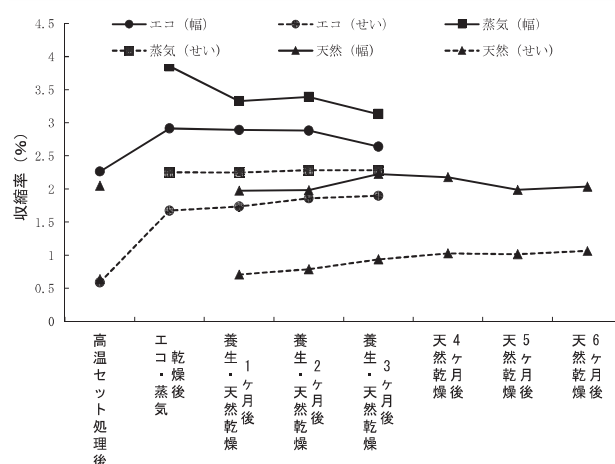


図6 収縮率の変化

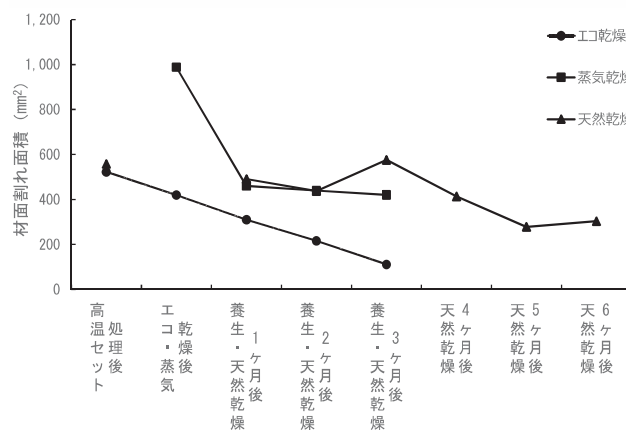


図7 材面割れ面積の推移

なお、材面割れ面積は測定した材面割れの最大幅と割れ長さをもとに算出した。いずれの乾燥方法でも高温セット処理の効果により、時間経過につれて材面割れが閉じていき、割れ面積が減少する傾向を示した。また、エコ乾燥は蒸気乾燥と比較して割れ面積が半分以下となった。

次に、各乾燥条件における材面割れについて、表4に示す乾燥材の品質基準に基づき品質区分を行った((財)日本住宅・木材技術センター, 2003)。使用箇所は見え隠れとして用いる場合の基準である。図8にエコ乾燥と蒸気乾燥の材面割れによる品質区分結果を示す。エコ乾燥では供試材の64%、蒸気乾燥では50%が品質ランクAに含まれる結果であった。

表4 スギ平角乾燥材の材面割れ品質基準

含水率ランク(%)	品質ランク	材面割れ(mm)	
		幅	長さ
20	A	5	500
	B	7	1,500

注1: 各項目の数値基準は表示値以下とする。

注2: 材長は4mの場合を示す。

注3: 幅は最大幅、長さは4材面に発生した割れの総計を示す。

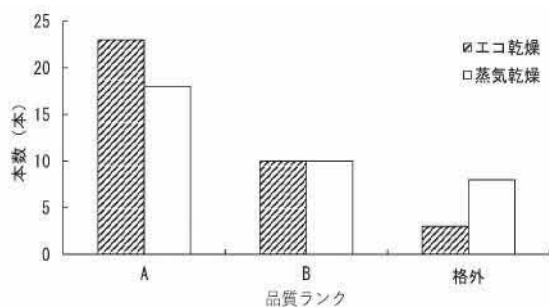


図8 材面割れによる品質区分

5) 内部割れの推移

図9に養生後または天然乾燥後における供試材1本あたりの内部割れ面積を示す。なお、内部割れ面積は測定した内部割れの最大幅と割れ長さをもとに算出した。乾燥条件別の内部割れ面積はエコ乾燥が40mm²、蒸気乾燥が68mm²、天然乾燥が22mm²であった。乾燥温度が高くなるにつれて、内部割れ発生量も増加する傾向を示した。

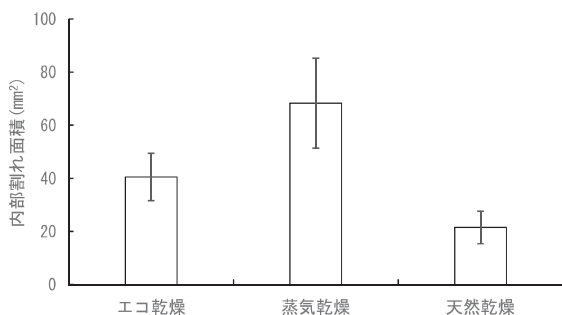


図9 乾燥条件ごとの内部割れ面積

注: エラーバーは標準偏差

6) 材色の評価

図10に養生後または天然乾燥後の心材のL*a*b*の指数値を示す。L*は明度、a*は赤みの成分、b*は黄色みの成分を示す。心材では乾燥方法の違いによる明度、

赤みの成分および黄色みの成分の差は確認できなかった。また、辺材も同様の結果であった。

また、図11にL*a*b*の指数値を合計したΔE*を示す。CIE(国際照明委員会)L*a*b*表色系における色差の程度の評価は表5のとおりである(岡山県木材加工技術センター, 1996)。エコ乾燥と蒸気乾燥では心材で1.0、辺材で1.3であり、その差は「わずかに異なる」程度であった。

一方、エコ乾燥と天然乾燥では心材で1.7、辺材で1.5であり、その差は心材と辺材で「感知し得るほど異なる」程度であった。また、蒸気乾燥と天然乾燥では心材で2.5、辺材で1.8であり、その差は「感知し得るほど異なる」程度であった。中温乾燥温度の差が特に心材の色差に影響したと考えられる。

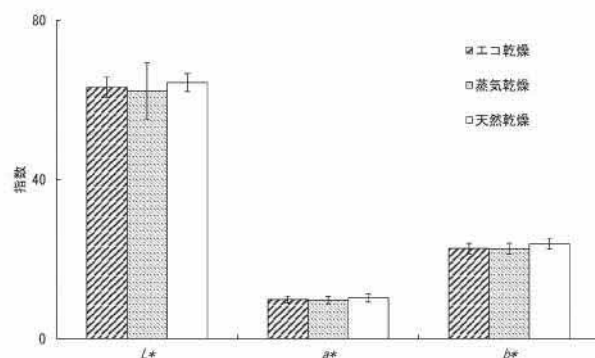


図10 乾燥条件ごとの心材のL*a*b*の指数値

注: エラーバーは標準偏差

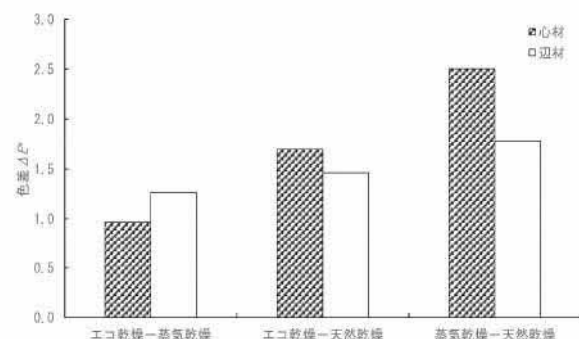


図11 各乾燥方法別の色差ΔE*

表5 CIE (国際照明委員会) $L^*a^*b^*$ 表色系

ΔE^*	色差の程度の評価
0 ~ 0.5	極めてわずかに異なる
0.5~1.5	わずかに異なる
1.5~3.0	感知し得るほど異なる
3.0~6.0	著しく異なる
6.0~12.0	極めて著しく異なる
12.0以上	別の色系統になる

7) 省エネ性, 環境性, 経済性の評価

表6にエコ乾燥と蒸気乾燥別のランニングコストを示す。比較にあたって、仕上がり含水率の結果から、エコ乾燥は製材の日本農林規格のD20(20%以下)の基準を満たし、蒸気乾燥はD15(15%以下)の

基準を満たしたが、エコ乾燥と比べて過乾燥であった。そのため、蒸気乾燥の中温乾燥期間を9日間に補正した結果を用いてコストを比較した。

エコ乾燥は蒸気乾燥の約2倍の乾燥日数を要するが、乾燥材の品質を保ちながら一次エネルギー消費量を56%削減、ランニングコストを60%削減した。

ただし、エコ木材乾燥機のシステムCOP(エネルギー消費効率:電力1kWを使ってどれだけの熱量が得られるかという指標)は2.14であり、一次エネルギー効率は79%であったのに対し、エコ乾燥機と蒸気乾燥機の熱負荷が同量であったと仮定すると、蒸気乾燥機のボイラ効率は21%と過少に算出された。乾燥室内温度を90℃に設定する蒸気乾燥は、乾燥室内

表6 エコ乾燥と蒸気乾燥の省エネ性, 環境性, 経済性の比較

項目	エコ乾燥	蒸気乾燥	蒸気乾燥 (補正後) ^{注:5}	効果	
高温セット	乾燥期間		2日間	—	
	A重油消費量		150L	—	
	一次エネルギー消費量 ^{注:1}		6.2GJ	—	
	ランニングコスト ^{注:2}		15千円	—	
中温乾燥	乾燥期間	18日間	12日間	9日間	9日遅延
	乾燥温度	60℃	90℃	90℃	—
	A重油消費量	—	630L	473L	—
	電力消費量	522kWh ^{注:4}	—	—	—
	一次エネルギー消費量 ^{注:1}	5.1GJ	25.8GJ	19.4GJ	74%削減
	CO ₂ 排出量 ^{注:3}	365.4kg-CO ₂	1707.3kg-CO ₂	1281.3kg-CO ₂	71%削減
	ランニングコスト ^{注:2}	10千円	62千円	47千円	79%削減
合計	乾燥期間	20日間	14日間	11日間	9日遅延
	一次エネルギー消費量 ^{注:1}	11.2GJ	32.0GJ	25.5GJ	56%削減
	CO ₂ 排出量 ^{注:3}	771.9kg-CO ₂	2113.8kg-CO ₂	1687.8kg-CO ₂	54%削減
ランニングコスト ^{注:2}	25千円	77千円	62千円	60%削減	

注:1 一次エネルギー消費量の算出には、エネルギー消費原単位9.76MJ/kWhおよび41MJ/Lを適用。

注:2 ランニングコストの算出には、試験時の実購入価格である19.2円/kWhおよび99.2円/Lを適用。

注:3 CO₂排出量の算出には、試験時の二酸化炭素排出量である0.70kg-CO₂/kWhおよび2.71kg-CO₂/Lを適用。

注:4 ヒートポンプ消費電力量318kWhとポンプ消費電力量130kWh、送風機消費電力量74kWhの和。
蒸気乾燥機の循環ファン消費電力量が未計測であるため、ユニットヒータの循環ファンの消費電力量は除外して算出。

注:5 仕上含水率の計測結果より、蒸気乾燥はエコ乾燥より過乾燥であったため、乾燥期間が9日間であった場合を想定して補正。

貫流率を概算すると、0.35 W/(m²·K)であった。

実測値に基づく熱貫流率の推算値が大きい理由として、実測値の壁体放熱量には、換気口やすき間等からの放熱によるものが含まれているためであると考えられる。従って、乾燥室熱負荷を低減するためには、断熱性の向上だけでなく、気密性の向上も重要であることがわかった。

表7 熱貫流率の推算

項目	単位	試験結果
木材本数	本	36
乾燥時間	h	428
水分蒸発量	kg (kg/本)	233 (6.5)
平均外気温度	℃	26
平均室内温度	℃	59.8
平均外気湿度	g/kg (DA) (%)	15.4 (72)
平均室内湿度	g/kg (DA) (%)	22.1 (17)
乾燥室供給熱量	kWh	1116
平均熱負荷	kW	2.6
初期加熱量	kWh	25
水分蒸発量	kWh	157
給気加熱量	kWh	240
壁体放熱量	kWh	694
熱貫流率 (推算)	W/(m ² ·K)	0.96

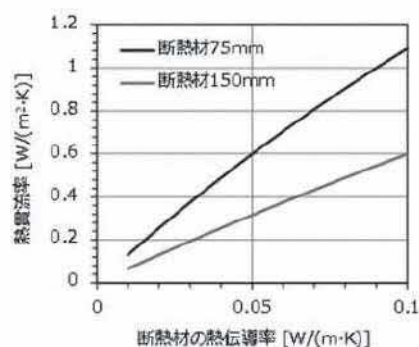


図13 断熱材の熱伝導率

3) 最適乾燥室容量の検討

CAONS140 に対して最適な乾燥室容量を推算した。

表8に乾燥室の必要加熱量を推算した結果を示す。乾燥機は年間を通して運転するものであるため、冬期でも必要加熱量を確保する必要がある。CAONS140の定格加熱能力が14kWであることから、乾燥室容積はケース③の試作機の3倍程度の規模が適当だと推測できる。この場合の乾燥室内寸法は幅3.0×奥行9.0×高さ2.5m程度であり、長さ4mのスギ平角を

表8 乾燥室の必要加熱量の推算

項目	単位	ケース① (2倍)	ケース② (3倍)	ケース③ (3倍)	ケース④ (4倍)
乾燥室寸法	m×m	1.9×9.0	3.0×9.0	3.0×9.0	4.0×9.0
	×m	×2.5	×2.5	×2.5	×2.5
乾燥室内容積	m ³	42.8	67.5	67.5	90
乾燥室内面積	m ²	88.7	114	114	137
木材本数 ^{注:1}	本	80	120	120	160
収容材積 ^{注:1}	m ³	8.1	12.1	12.1	16.1
乾燥時間	h	432	432	432	432
初期含水率	%	40	40	50	50
仕上含水率	%	20	20	20	20
室内温度	℃	60	60	60	60
室内相対湿度	%	15	15	15	15
外気乾球温度	℃	16	16	7	7
外気湿球温度	℃	12	12	6	6
外気相対湿度	%	62.5	62.5	87.5	87.5
初期加熱量	kWh	62	93	118	157
水分蒸発量	kWh	376	564	842	1,122
給気加熱量	kWh	584	876	1,389	1,851
壁体放熱量 ^{注:2}	kWh	1,517	1,950	2,349	2,823
必要加熱量	kWh	2,540	3,483	4,697	5,953
必要加熱能力	kWh	5.9	8.1	10.9	13.8

注:1 スギ平角 (130×225×4,000mm) を乾燥させる場合を想定。

スギの全乾密度と比熱は、それぞれ350kg/m³、1.34kJ/(kg·K) (=0.32kcal/(kg·℃)) と仮定。

注:2 乾燥室の熱貫流率は0.9W/(m²·K) と仮定。

奥行方向に2列配列し、計120本程度を収容できる容量である。

IV まとめ

空気熱源温水循環ヒートポンプと太陽熱集熱器を組み合わせたエコ木材乾燥機を試作した。高温セット処理を2日間実施した後、試作したエコ木材乾燥機を用いて中温乾燥試験を行った。18日間で中温乾燥を行って、合計20日間で供試材の含水率は70%から16%に低下し、製材の日本農林規格の含水率基準であるD20(20%以下)を満たした。また、収縮率、材面割れ、内部割れおよび材色についても蒸気乾燥の場合と比較して、同等以上の品質を示す結果が得られた。

エコ乾燥は蒸気乾燥の約2倍の乾燥日数を要するが、乾燥材の品質を保ちながら、一次エネルギー消費量を56%削減、CO₂排出量を54%削減、ランニングコストを60%削減した。

また、本試作機のエネルギーバランスの評価結果から、今後、実用機として製作する際には、太陽熱集熱器および顕熱交換機の装着は必須ではなく、吸排気をダンパー式に改良し、クッションタンクを密閉式にして放熱ロスを少なくすることにより、ヒートポンプの省エネ性能を高めることが望ましい。さらに、CAONS140の加熱能力に適した乾燥室容量は試作機の3倍程度と推算される。

エコ木材乾燥機は一次エネルギー消費量とランニングコストの削減が期待できることから、既に高温セット処理が可能な高温蒸気式乾燥機を導入している製材事業体において、高温セット処理後の中温乾燥工程での活用が見込める装置といえる。

謝辞

この研究を進めるにあたり元島根県中山間地域研究センター嘱託職員 福島 亮氏、同センター会計年度任用職員 八幡優子氏には多大なご協力をいただいた。ここに厚く御礼申し上げる。

引用文献

- 池淵 隆・後藤崇志・福島 亮・錦織 勇(2002) 太陽熱利用によるスギ及びヒノキ材の乾燥. 島根林技研報 53 : 27-36.
- 石橋正樹・藤田 勝(2011) 島根県産スギ平角の高品質乾燥技術の確立と強度性能評価. 島根中山間セ研報 7 : 51~57.
- 城井秀幸・青田 勝・河津 渉・津島俊治(2006) 高温低湿処理をしたスギ平角材の天然乾燥について. 第56回日本木材学会大会研究発表要旨集 : F09-1030.
- (公財) 日本木材加工技術協会(2019) 最新木材工業事典 [新版] : 51-52.
- 豆田俊治・藤島義夫(2015) ヒートポンプ温水器等を活用した温水式中温乾燥機の試作. 第65回日本木材学会大会発表要旨集 : 77.
- 岡山県木材加工技術センター(1996) -建築用針葉樹製材のための-人工乾燥材生産技術入門 : 172-176.
- 島根県中山間地域研究センター・島根県農林水産部林業課(2021) 建築用針葉樹製材の人工乾燥技術改訂3版 : 43.
- 寺澤 眞(1994) 木材乾燥装置の基礎知識. (木材乾燥のすべて. 海青社) : 454.
- (財) 日本住宅・木材技術センター(2003) 品質・性能向上技術調査・開発事業報告書(国産針葉樹乾燥材の生産技術マニュアル) : 5.

石州半紙の原料とされている 島根県産コウゾにおける標準的な生産成績の把握

— 幹成長, 原木収量および和紙原料としての歩留まり —

大場 寛文*・富川 康之

Understanding of Standard Results of the Cultivation for Kozo from Shimane Prefecture,
that have being Used in Material of Sekishu-banshi
— The Growth Amount and Raw Yield of Logs, while Yield Rate as Material for Japanese Paper —

OBA Hirofumi* and TOMIKAWA Yasuyuki

要 旨

コウゾ生産ほ場で幹成長と原木収量を調査した。幹の伸長成長は7月が最も大きく、10日間の最大成長量は48 cmであった。9月には成長量が低下し、9月下旬には11月に収穫する幹長とほぼ同じ長さになった。1株当たりの幹数は生産者による萌芽整理で調整され、育成管理1~6年目は少しずつ増加し、6~10年目は20~30本/株で推移した。収穫時の幹長は管理年数にかかわらず同程度で、回帰直線によると約2.5mで推移したが、胸高直径は1年目の9.5 mmから10年目の7.5 mmへ減少する傾向を認めた。原木収量は管理2~4年目には1.5~2.0 kg/株、5年目以降には2.5~3.3 kg/株で推移した。幹長、胸高直径および地際直径は原木重量との間に強い正の相関を認めた。玉切り原木の重量割合は一番玉が収量全体の60%、一番玉と二番玉を合わせた重量割合は90%であった。2か所の栽培試験地で、生産ほ場と同じ栽培系統を供試して、和紙原料としての歩留まりを調査した。末口直径と原木重量に対する白皮歩留まりとの間には相関があり、白皮歩留まりは末口直径が13 mmのときに最も高く、直径15 mm以上では低下する傾向を認めた。本調査結果を標準的な生産成績として、技術指導用の資料に活用したい。

キーワード：コウゾ, 和紙, 幹成長, 原木収量, 原料歩留まり

I はじめに

コウゾ (*Broussonetia kazinoki* × *B. papyrifera*) は樹皮のうち主に韌皮繊維が手漉き和紙の原料となるクワ科コウゾ属の落葉広葉樹である (伊東, 1994)。島根県内ではコウゾから生産される‘楮紙’のほかにも、ミツマタ (*Edgeworthia chrysantha*) やガンピ (*Diplomorpha sikokiana*) による‘三椏紙’

や‘雁皮紙’を生産される和紙工房が点在しているが、特に県西部地域 (石見地方) は本県の主要な和紙産地として知られている^[注1]。石見地方で生産される和紙は‘石州和紙’と称されているが、このうちコウゾのみを原料にされて、強靱で耐久性の高い楮紙は‘石州半紙 (せきしゅうばんし)’として区別されている^[注2]。

*島根県西部農林水産振興センター

我が国の和紙生産者戸数は明治期をピークに以後は減少し（久米，2012），この推移は本県においても同様である。近年では和紙の実用的な使用量はわずかとなったが，アート素材やインテリア部材としての用途が注目され，楮紙は文化財の保存・補修資材として（尾鍋，2006），ミツマタは紙幣用紙の原料として国産品を欠かすことができない。このため，紙漉き技術のみならず原料の生産技術についても後世に引き継ぐことが課題となっている（小川・長田，2016）。上述した石州半紙を産する地域においても，コウゾ生産者を育成するため地元自治体による支援が続けられている。

コウゾはヒメコウゾ（*B. kazinoki*）とカジノキ（*B. papyrifera*）の交雑種であり，両種の遺伝的特性をどれだけ持ち合わせているかによって多くの栽培系統が存在し，それぞれの栽培特性は様ではない（田中ら，2018）。また，栽培系統ごとに繊維長など和紙原料としての品質が異なり，各産地では固有系統が大切に受け継がれている（浅野・佐藤，2017）。和紙原料へ調製する工程も古来の技法が産地ごとに継承されている。例えば，石州半紙においては樹皮の表皮直下にある甘皮を除かないで原料にされており^{〔注3〕}，このことは他産地とは大きく異なる特徴である（田中ら，2018）。

上述した理由から，コウゾの生産方法^{〔注4〕}については他産地の情報をそのまま採用するのではなく，該当産地を個別に調査・指導しなければ技術向上につなげることができない。このため著者ら

は，石州半紙の原料となるコウゾ生産に限定し，この原料を安定的に供給されている生産者のほ場を対象にして，コウゾの幹成長と原木収量の目標値を定めるための調査を実施した。また，技術指導に資する情報を得るため，石州半紙用の栽培系統を用いて原料の歩留まりを調査した。

II 調査ほ場

1. 幹成長と収量の調査

石州半紙の原料となるコウゾ原木を生産されている浜田市三隅町内のほ場のうち，2009年に最初の苗木を植栽され，2011～2018年には毎年の植栽によって栽培面積を拡大されたほ場を調査対象にした（以下，「生産ほ場」と略記）。標高は80～90m，林地の中腹から谷部の河川にまで続く起伏の少ない緩斜面で，平均傾斜は7°であった（表1）。土壌は礫が混じる褐色森林土であった。

2009年3月，同地域で使用されてきた栽培系統を和紙生産者から譲り受けて，生産ほ場の1区画へ植栽された。2011～2018年の各植栽区へは生産ほ場内で発生した根萌芽由来の個体を堀上げて苗木とされた。各植栽年の3月中旬～4月上旬，列幅を1.5～2.1m（平均1.8m），株幅を0.9～1.6m（平均1.3m）の間隔で植栽され（表1，写真1，写真2），植え穴へは化成肥料14-14-14（50g/苗），植栽木周囲の地表へは発酵鶏糞（500g/株）を施用された。

植栽年の6月と7月，植栽木周囲の地表へ化成

表1 コウゾ生産ほ場の育成管理と調査区の概要

ほ場設置（植栽）年	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	平均
管理年数*	8-10	7-9	6-8	5-7	4-6	3-5	2-4	1-3	—
調査区面積（㎡）	9.4	12.1	6.2	7.0	10.6	6.3	7.5	9.9	8.6
傾斜（°）	3	8	10	9	5	10	11	0	7
列幅（m）	1.8	1.8	1.5	1.6	2.1	1.8	2.0	2.0	1.8
株幅（m）	1.5	1.6	1.2	1.2	1.5	0.9	1.0	1.5	1.3
株密度**（株/10a）	427	330	646	571	378	635	536	404	491

*幹成長調査は2018年と2020年の2年，収量調査は2018～2020年の3年

**調査株数は調査区当たり4株

肥料 14-14-14 (50 g/株) と発酵鶏糞 (500 g/株) を追肥され、1 月には前年の刈り草を堆積して得られた堆肥を株周囲へ施用された。植栽翌年以降は3月下旬と6月に上述と同じ化成肥料 (50 g/株) と発酵鶏糞 (500 g/株) を株周囲の地表へ、7月上旬にも発酵鶏糞 (500 g/株) を同様に施用され、1月の刈草堆肥施用を同様に継続された。年間の主な管理として、5～6月に株元から成長した萌芽の本数を調整された (写真3、写真4)。また、6～9月には3～7日おきにほ場を巡回され、幹に互生する葉の葉腋から成長した脇芽の摘み取りを継続された^[注4]。この他、除草、害虫捕殺を適宜実施された。



写真1 コウゾ生産ほ場の全景

Note. 撮影日は 2020. 5. 26, 浜田市三隅町, 格子状に並ぶ緑色の点は昨年に収穫した株元から成長した萌芽, 当センター森林保護育成科の職員がドローンを使用して撮影



写真2 生産ほ場で育成されているコウゾ

Note. 撮影日は 2019. 8. 23

2. 原料歩留まり調査

2017年3月, 飯石郡飯南町上来島 (当センター構内) と浜田市佐野町の個人が所有される休耕地に栽培試験地を設けた (以下, それぞれ「飯南試験地」, 「浜田試験地」と略記)。飯南試験地は標高450m, 山地を削った平地で, 2002年に真砂土が客土され, 芝生緑化された区画に設置した。シバ属 (*Zoysia* sp.) を剥ぎ取り, 真砂土を耕起して, 牛糞堆肥 (2 kg/m²) を漉き込んだ。浜田試験地は標高160mの段畑跡で, 定期的に雑草が刈り払われている法尻に設置した。

両試験地とも設置年の3月下旬に, 上述した幹成長と原木収量を調査した生産ほ場から発生した根萌芽由来の個体を譲り受けて苗木とした。飯南試験地は列幅を1.4m, 株幅を50cm, 浜田試験地は1列のみに株幅を90cmにして植栽した。両試験地とも, 6月中旬に株周囲の地表へ発酵鶏糞 (200 ml/株), 7月下旬に化成肥料 8-8-8 (50 g/株) を



写真3 株元から成長した萌芽

Note. 撮影日は 2018. 5. 23, 本数調整前, 刈り草堆肥が株の周囲に施用されている



写真4 萌芽幹が株状に成長したコウゾ

Note. 撮影日は 2019. 8. 23

追肥した。植栽翌年以降の追肥，萌芽整理，脇芽の摘み取り，除草などの管理は生産ほ場の条件に準じた。

Ⅲ 調査方法

1. 幹成長

2017年4月，生産ほ場の2014年植栽区（管理4年目）から2株を選抜し，各株から初期成長が大きかった幹1本を対象にして，4月5日～9月22日に10日間隔で幹長を測定した。計測は湾曲した幹を直線状にしてスタッフ（箱尺）で測定した（以下，幹長の測定はスタッフを使用）。

2018年11月，生産ほ場で2011～2018年の各植栽区（管理1～8年目）から隣接した4株（2列×2株）を選抜して，11月下旬にすべての幹を地際から伐り採った。また，2020年にも11月下旬に同じ選抜株（管理3～10年目）からすべての幹を地際から伐り採った。収穫後，株ごとの幹数を数え，湾曲した幹を直線状にして元口から頂端までを測定した。また，元口から頂端方向へ1.3mの部位（胸高）の直径をデジタルノギスで測定した（以下，直径の測定はデジタルノギスを使用）。これに加えて，2018年の調査では，2011年植栽区（管理8年目）と2017年植栽区（管理2年目）の幹について，元口（地際）の直径を測定した。

2. 収量

上述した収穫原木は，株ごとの生重量をデジタル台秤で測定した（以下，重量測定はデジタル台秤を使用）。また，2019年にも11月下旬に同じ選抜



写真5 収穫原木

Note. 撮影日は2019.11.29

株（管理2～9年目）からすべての幹を地際から伐り採り，株ごとに生重量を測定した。続いて，すべての原木を対象に，元口から頂端方向へ1m間隔で切断した玉切り原木と，先端の1mに満たない部位に区分して，地表からの高さ別に生重量を測定した（写真5）。

3. 原料歩留まり

2018年11月，2017年植栽（管理2年目）の飯南試験地，浜田試験地からそれぞれ5株を選抜して，11月下旬以降に各株のうち幹長が3m以上の幹1本を地際から伐り採った。また，2020年にも11月下旬以降に各試験地（管理4年目）から同様に幹1本を地際から伐り採った。続いて，元口から頂端方向へ50cm間隔で玉切りして，玉切り原木の末口直径と生重量を測定した。玉切り原木はオートクレーブ（120℃，100分）で蒸したのち，樹皮（黒皮）を剥ぎ取り，数日後に黒皮の風乾重量を測定した。黒皮から表皮を削り取る作業は和紙生産者へ依頼し，調製された甘皮付き白皮^[注3]（以下，「白皮」と略記）の風乾重量を測定した。

Ⅳ 結果と考察

1. 幹成長

1) 幹長の年間成長

4～9月の幹長の推移を図1に示した。各幹の成長曲線は近似し，4月中旬～6月中旬は成長量が少

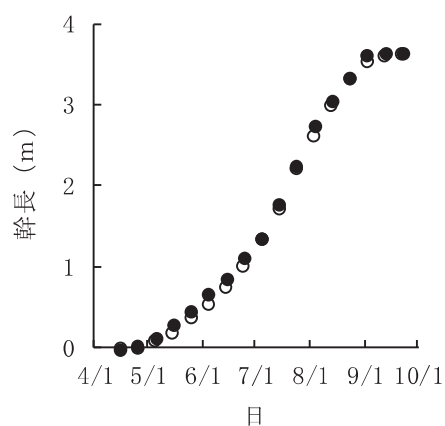


図1 幹長の推移

Note. ●, ○: 2株から選抜した各株

しずつ大きくなり、6月中旬～8月下旬はほぼ一定量の成長が続いた。7月14～24日の10日間では幹2本の平均成長量は48cmで期間当たりの最大となり、これに次いで7月24日～8月3日は平均45cmであった。9月の成長量は小さく、9月2日～9月22日は20日間の成長量が平均7cmであった。

成長量大きい6月中旬～8月下旬には適期に追肥し、降水量が少ない場合には灌水をするなど、成長を妨げない管理が大切である。9月下旬以後の幹長は測定していないため目視による観察であるが、幹長成長は殆ど認められなかった。このことから、9月下旬の幹長測定によって11月下旬に収穫される原木の長さを概ね知ることができる。

2) 幹数の経年変化

8年間継続して苗木植栽されたほ場での2018年(管理1～8年目)と2020年(管理3～10年目)の調査において、植栽からの管理年数が同じ場合はこれらの試料の数値をまとめて平均した(以下の「3) 幹長と胸高直径」も同じ集計方法とした)。

植栽からの管理年数の経過に伴う1株当たり幹数の推移を図2に示した。管理2年目以降は萌芽幹の成長によって樹形が株状となり、2年目の10本/株から6年目には23本/株まで増加し、6～10年目は20～30本/株の範囲で推移した。

1株当たり幹数の推移は萌芽の生育特性のみに起因する結果ではなく、生産者による萌芽整理によって概ね決定される。熟練生産者は植栽から4

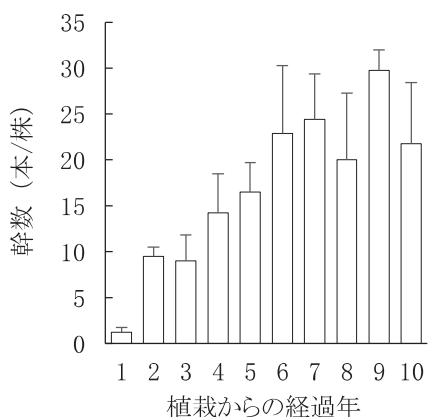


図2 管理年数別1株当たり幹数

Note. エラーバーは標準偏差

年目までは少しずつ幹数を増やし、5年目以降は管理年数や萌芽幹の樹勢から判断して萌芽数を20～25本程度に調整される。このことから、この生産ほ場での幹数は、適正な管理が継続された結果と考えられる。

3) 幹長と胸高直径の経年変化

植栽からの管理年数の経過に伴う幹長と胸高直径の推移を図3、図4に示した。なお、幹長が1.3m未満の幹と、先折れが生じた幹は集計対象から除いた。調査した幹数は、後述する胸高直径と幹長との関係を示した表2の値と同じである。幹長直線によると約2.5mを推移した。一方、胸高直

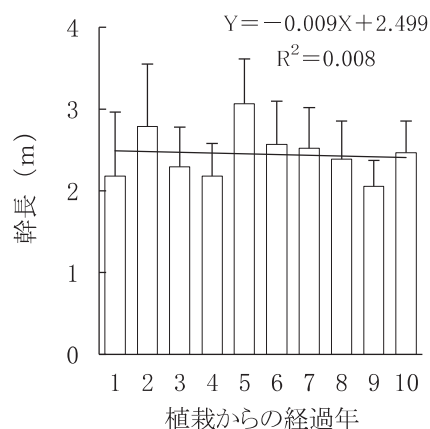


図3 管理年数別幹長

Note. エラーバーは標準偏差, —: 回帰直線

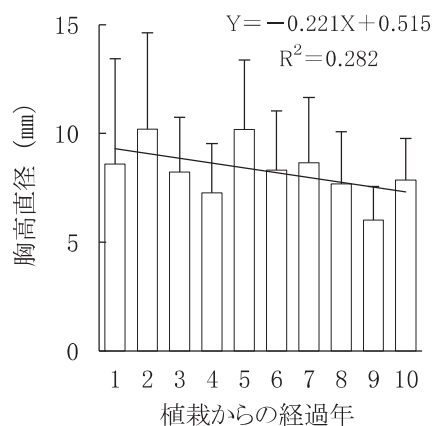


図4 管理年数別胸高直径

Note. エラーバーは標準偏差, —: 回帰直線

径は管理年数が長くなるにしたがって減少する傾向があり、強い相関は認められなかったが ($r=0.531$)、回帰直線によると1年目の9.5 mmから10年目の7.5 mmまで2 mm減少した。

管理年数の経過とともに胸高直径が減少した理由は1株当たり幹数が増加したためと、加えて株自体の樹勢が弱くなった可能性も考えられる。

調査したすべての幹について、胸高直径と幹長の関係を図5に示した。胸高直径と幹長は線形回帰の関係となり、強い正の相関 ($r=0.938$) を認め

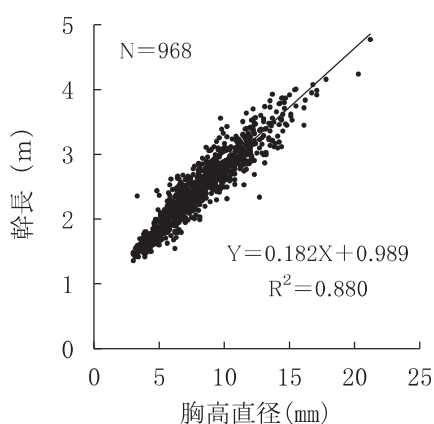


図5 胸高直径と幹長の関係

Note. — : 回帰直線

表2 管理年数別の胸高直径と幹長の関係

管理年数	調査幹数*	回帰式**		決定係数 (R^2)
		傾き	切片	
1	4	0.16	0.78	0.993
2	37	0.17	1.07	0.956
3	69	0.19	0.77	0.915
4	100	0.17	0.92	0.947
5	131	0.16	1.41	0.884
6	171	0.18	1.05	0.887
7	167	0.16	1.11	0.899
8	111	0.18	0.99	0.887
9	97	0.19	0.89	0.919
10	81	0.18	1.01	0.830
全体	968	0.18	0.99	0.880

*幹長1.3m未満の幹と先折の幹を除く

**線形回帰

た。管理年数ごとに胸高直径と幹長の回帰式を求め、それぞれの傾き、切片および決定係数を表2に示した。管理年数が異なっても傾き、切片および決定係数には大きな差はなく、いずれも強い正の相関を認めた。

本報告では図示しなかったが、管理年数ごとの回帰直線は図5に示した回帰直線に近似して重なった。したがって、管理年数にかかわらず図5へ記載した回帰式によって、胸高直径と幹長のそれぞれから他方の値を概ね推計できる。

2. 収量

1) 原木収量

幹数の経年変化の集計と同様に、2018 (管理1~8年目) ~2020年 (管理3~10年目) の3年間の調査において、植栽からの管理年数が同じ場合はこれらの試料の数値をまとめて平均した (以下の「2) 部位別収量」も同じ集計方法とした)。

植栽からの管理年数の経過に伴う1株当たり原木収量の推移を図6に示した。管理2~4年目は1.5~2.0 kg/株、5年目以降は2.5~3.3 kg/株の範囲で推移した。最も収量が多かったのは6年目で、このうち最も収量が多かった調査株は7.6 kg/株・年で、これは1調査年の1株当たり収量としても最多であった。1株の平均収量 (調査期間3年の総収量/延べ調査株数) は2.5 kg/株で、生産ほ場の植栽密度491株/10a (表1) から算出した反収は

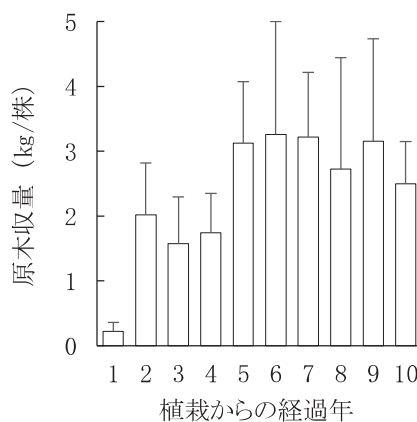


図6 管理年数別1株当たり原木収量

Note. エラーバーは標準偏差

1.1 t / 10 a であった。

1 株当たりの萌芽数が 20~25 本に調整された管理 5 年目以降は、3 kg/株程度の安定した収量が得られた。このことから、原木収量は株の充実が関係すると推察される。本調査結果では収量のピークが顕著ではないが、管理 6 年目以降は若干減少傾向にあると考えられ、株の樹勢が弱くなったことが原因だとすれば、植栽木の更新時期を判断するための調査が必要である。

2018 年に収穫した管理 2 年目と 8 年目の原木について、原木 1 本ごとの幹長、胸高直径および地際直径と重量との関係を図 7、図 8 および図 9 に示した。幹長、胸高直径および地際直径のそれぞれと原木重量は 2 次回帰曲線に従い、いずれも強い

正の相関（それぞれ $r=0.953$ 、 $r=0.981$ および $r=0.961$ ）を認めた。

2) 部位別収量

玉切り原木は地表に近かった方から一番玉、二番玉のように区分して、最高は四番玉まで得られた。また、先端の 1m に満たなかった部位は規格外とした。植栽からの管理年数ごとに原木収量に対する部位別重量割合を図 10 に示した。ただし、四番玉の重量割合は管理 2 年目のうち 1.3%、5 年目のうち 0.2%、総収量の 0.1% しかなく、これらは除いて集計した。管理年数にかかわらず一番玉の割合が最も高く、およそ 60% を占めた。これに次いで二番玉の割合が高く、一番玉と二番玉を合

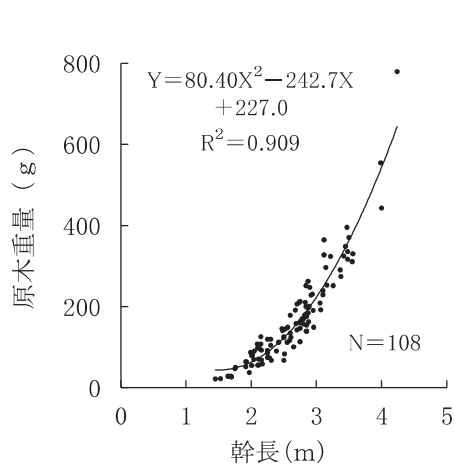


図 7 幹長と原木重量の関係

Note. — : 回帰曲線

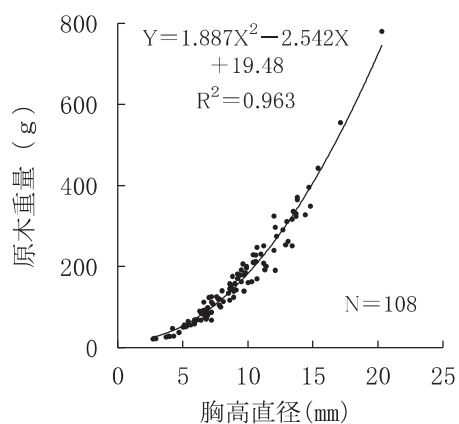


図 8 胸高直径と原木重量の関係

Note. — : 回帰曲線

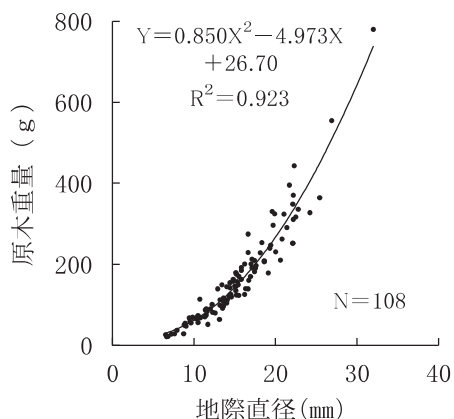


図 9 地際直径と原木重量の関係

Note. — : 回帰曲線

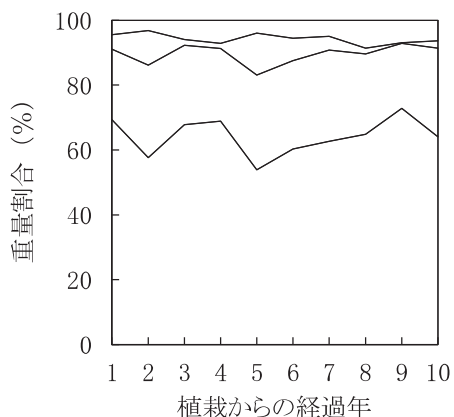


図 10 管理年数別部位別重量割合

Note. 積み重ね面グラフは下から一番玉、二番玉、三番玉、規格外

わせた割合は90%に及んだ。

収量の大半を占める地表から高さ2mまでは脇芽の摘み取りを徹底して、和紙原料を調製する上で作業性の低下につながる樹皮の傷（枝跡の穴）が生じないようにすることが重要である^[注4]。

3. 原料歩留まり

2調査年に2試験地で得られた玉切り原木の重量と、各原木から得られた黒皮重量、白皮重量との関係を図11、図12に示した。原木重量に対する黒皮重量、白皮重量はいずれも2次回帰曲線に従い、いずれも強い正の相関を認めた（それぞれ $r=0.981$, $r=0.964$ ）。一方、黒皮と白皮の歩留まりは原木重量が大きくなるほど低下する傾向が見ら

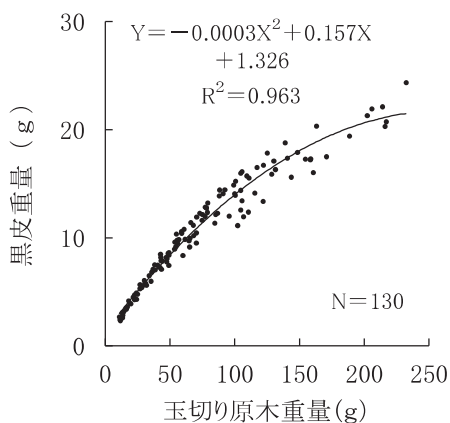


図 11 玉切り原木重量と黒皮重量の関係

Note. —：回帰曲線

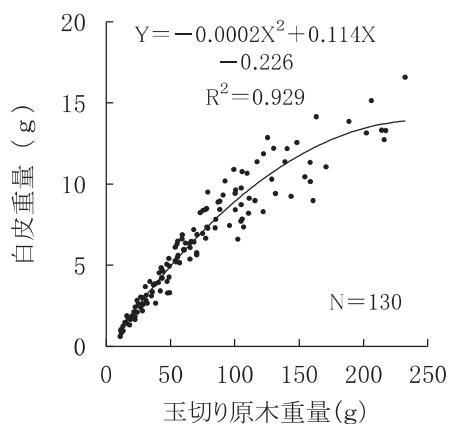


図 12 玉切り原木重量と白皮重量の関係

Note. —：回帰曲線

れた。

玉切り原木の末口直径と、各原木の重量に対する黒皮歩留まりとの関係を図13に示した。末口直径と黒皮歩留まりは線形回帰の関係となり、強い負の相関 ($r=-0.909$) を認めた。玉切り原木の末口直径と、各原木の黒皮重量に対する白皮歩留まり、また原木重量に対する白皮歩留まりとの関係を図14、15に示した。末口直径と白皮歩留まりはいずれも2次回帰曲線に従い、曲線は山型となった。末口直径と黒皮重量に対する白皮歩留まりとの間には強い相関 ($r=0.832$) を認めた。また、回

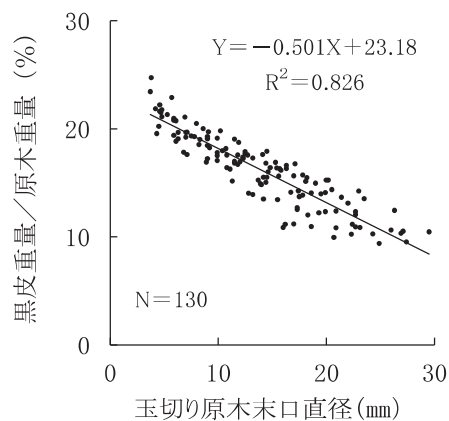


図 13 原木直径と原木重量に対する黒皮歩留まりとの関係

Note. 原木は生重量，黒皮は風乾重量，—：回帰曲線

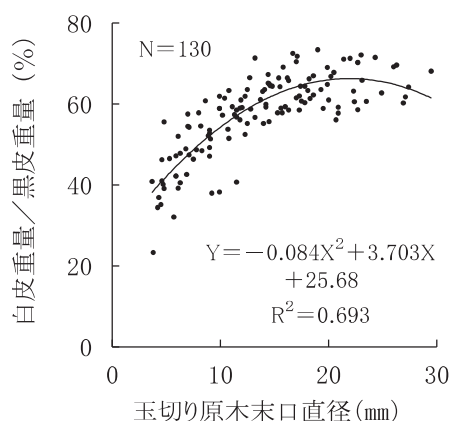


図 14 原木直径と黒皮重量に対する白皮歩留まりとの関係

Note. 黒皮と白皮は風乾重量，—：回帰曲線

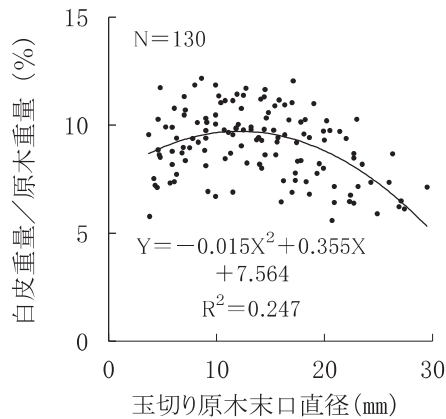


図 15 原木直径と原木重量に対する白皮歩留まりとの関係

Note. 原木は生重量、白皮は風乾重量、
—：回帰曲線

回帰曲線によると末口直径が 22 mm のときに歩留まりが最も高くなった。末口直径と原木重量に対する白皮歩留まりとの間に相関を認めた ($r=0.497$)。また、回帰曲線によると末口直径が 13 mm のときに歩留まりが最も高くなり、散布図のプロット位置によると末口直径が 15 mm 以上では歩留まりが低下する傾向にあった。

原木の収穫、玉切り、結束、出荷などの作業性を考えると、原木重量と幹直径は大きいほど効率的であるが、同時に和紙原料としての歩留まりが高い条件が好ましい。末口直径と原木重量に対する白皮歩留まりについては、相関は強くなかったものの、幹直径を 15 mm 以下にすることを第一条件とし、できるだけ 10 mm 以上にすることを育成目標として提案する。

生産ほ場で収穫された原木の胸高直径は大半が 15 mm 以下に分布していた (図 5)。また、生産ほ場での管理 1~10 年目の胸高直径は、回帰直線によると 7.5~9.5 mm の範囲にあった (図 4)。これらの結果は、原木収量のうち 60% を占める一番玉において、白皮歩留まりが高くなる条件で管理されていると判断できる。コウゾ生産においては 1 株当たりの幹数が幹直径に大きく影響すると考えられ、生産者による萌芽整理が適正であったと言える。

4. まとめ

実際のコウゾ生産ほ場において、幹成長と原木収量に関する数値情報が得られた (図 1~4, 6, 10)。また、生産ほ場から調達した栽培系統を用いて、黒皮と白皮の歩留まりを調査した結果、原木重量に対して歩留まりが高くなる幹直径が判明し (図 14, 15)、1 株当たりの幹数を調整する必要性が示唆された。

生産者による育成管理のうち、萌芽整理の的確さは注目に値する。管理年数に応じて幹数を調整されることで (図 2)、胸高直径は同程度に揃えられており (図 4)、収量の大半を占める一番玉の白皮歩留まりは高い条件となっていた。この生産ほ場では適正な育成管理が実践されていると評価され、本調査結果は標準的な生産成績として扱っても良いと考えられる。これにより、それぞれの数値情報はこの地域の生産者にとって具体的な生産目標になると考える。また、幹長、幹径、原木収量の関係が明らかとなり (図 5, 表 2, 図 7~9)、これらの結果は生育診断や収量予測に応用できることから、多くの生産者へ情報提供したいと考えている。

V おわりに

コウゾの地域自給を維持するためには、新規生産者の確保が必須である (小川・長田, 2016; 田中, 2014)。このため、石州半紙の産地においても地元自治体による栽培技術研修などが催されている。これには本調査で対象にした生産ほ場が利用され、このほ場を管理されている生産者は後進の指導に協力的である。最近の数年間で生産希望者は増加しつつあり、本調査結果が熟練生産者の技術を知るための資料となれば幸いである。なお、この生産者は施肥設計などの管理内容を必要に応じて見直され、より優れた管理へと随時改善されている。このため、本調査で対象にした 10 年の育成期間中においても管理内容に若干の違いがあることに留意して、改善理由については生産者からの解説を受けることが必要である。

本報告では詳しく述べなかったが、調査対象と

した生産ほ場では脇芽の摘み取り作業が丁寧に実施され、風倒害、害虫被害、野生動物による食害などを見逃さないよう日常的に巡回されていた。また、干ばつ年の夏季に葉が萎れる兆候があれば株元への灌水を実施されるなど、コウゾの育成に関する様々な配慮が聞き取れた。これらの管理内容は幹成長と原木収量に関係するため、本調査結果に併せて技術指導用の資料に記載することが大切である。

生産者によるほ場の巡回で数種の害虫が見つかり、当センター森林保護育成科の職員または著者らが観察して、キボシカミキリ (*Psacotheta hilaris*)、クワハムシ (*Fleutiauxia armata*)、コウゾハマキモドキ (*Choreutis hyligenes*)、フクラスズメ (*Arctea coerulea*) およびウスバミドリヒメヨコバイ属の1種 (*Jacobiasca* sp.) と同定した。これらのうち、種によっては登録農薬があり (農水省, 2022)、また耕種的防除の情報もあるため、できるだけ多くの生産者に周知すべきと考える。

コウゾ生産において萌芽整理は重要な作業であり、1株当たりの幹数が幹直径と白皮歩留まりに影響することは上述したとおりである。熟練生産者は経験にもとづいて本数を決め、残す幹を選択されているが、この作業基準の作成は今後の課題である。その際、1株当たりの幹数と総収量との関係も考慮すべきである。また、作業回数が多く、長時間を費やす脇芽摘み取りの省力化にも幹数に関係するため、これらを総合的に検討する必要がある。

VI 謝辞

調査対象とした生産ほ場への立ち入りを承諾され、調査補助をして頂き、調査に併せて育成管理の要点を詳しく説明して頂いたコウゾ生産者の酒井清美氏に心から深謝するとともに、黒皮から白皮の調製作業を快く引き受けて頂いた和紙生産者に感謝の意を表す。また、本調査の実施と本報告を作成するにあたり、コウゾ生産や和紙生産に関する情報を提供して頂いた和紙生産者の方々、地元自治体の職員にお礼を申し上げる。

注

[1] 石見地方での紙漉きは飛鳥時代～奈良時代にかけて、柿本人麻呂が民衆に教えたのが始まりとされている。ただし、生産の記録が残されている室町時代を始まりとする考え方もある。江戸時代には浜田藩 (現在の浜田市の一部、益田市の一部、江津市の一部) と津和野藩 (津和野町、吉賀町、益田市の一部、浜田市の一部、江津市の一部、邑南町の一部) に及ぶ広範囲で生産された。

[2] 石州半紙は地元のコウゾ系統 (石見楮) のみを原料とされ、浜田市三隅町の限られた工房によって、伝統的な生産工程を遵守して漉かれた和紙を指す。2009年には、手漉き和紙として初めてユネスコ無形文化遺産に登録された。また、浜田市内の別の工房や、隣接する江津市でも石州半紙と同様な製法で、ほぼ同質な和紙が生産されており、この地域特有の紙漉き技術として継承されている。石州とは石見国 (いわみのくに) の別称。

[3] 和紙生産の初期工程として、黒皮 (樹皮) の最外部にある表皮と、その下層にある甘皮を削り取って白皮にする作業 (石見地方では‘そどり’や‘そどり’と呼ばれる) がある。大半の産地では白くて綺麗な和紙にするため、緑色の甘皮をすべて取り除かれるが、石州半紙は表皮のみを削り取り、甘皮を残して原料とされている点が希少である。甘皮を含めて原料にすることで、薄い緑色を帯びた強靱な和紙になる。

[4] コウゾ生産は、冬季に当年成長した幹を伐り採って収穫し、翌年に発生する萌芽から再び幹を育成する切り戻し栽培を繰り返す。成長した枝を切り落とすと、その箇所は樹皮に穴が空き、和紙生産工程で扱う黒皮や白皮 (上記, [注 3] を参照) の調製に支障をきたす。このため、6月以降は葉腋から成長する脇芽が小さいうちに、頻繁に摘み取る作業は大きな労力を要す。

引用文献

浅野良直・佐藤幸泰 (2017) 美濃和紙原料の高品

- 質化のための栽培・管理技術の開発（第4報）
和紙生産に適したコウゾの品質評価．岐阜県産
業技術センター研究報告 11：53-55.
- 伊東隆夫（1994）木の丈夫さーその形態学的側面
ー．木材研究・資料 30：16-23.
- 久米康生（2012）和紙文化研究事典．法政大学出
版局：51-55.
- 農林水産省（2022）農薬登録情報提供システム
（最終更新：2022.9.30）．[http://pesticide.
maff.go.jp/](http://pesticide.maff.go.jp/)（2022.10.4ダウンロード）.
- 小川三四郎・長田 萌（2016）手漉き和紙生産者
の経営実態と存続に向けた社会的課題．山形大
学紀要（農学）17（3）：189-211.
- 尾鍋史彦編（2006）紙の文化事典．朝倉書店：
174-184.
- 田中 求（2014）和紙原料生産を巡る山村の動態
ー高知県の町柳野地区の事例ー．林業経済研
究 60（2）：13-24.
- 田中 求・宍倉佐敏・富樫朗（2018）地域資源を
活かす生活工芸双書 楮・三椏．農山漁村文化
協会.

遮熱ハウス内の温度上昇が原因と考えられた シイタケ菌床栽培での収量減少と傘直径の増大

—気候変動が要因となった可能性と将来予測・対策—

富川 康之・口脇 信人・大場 寛文*

Decreased in Fruit-body Yield and Upsized the Pileus Diameter of Shiitake Mushroom
in Sawdust Cultivation that was Considered to be Caused by Rise Temperature in Heat Shield House
—The Possibility that Climate Change was a Factor, Future Forecasts and Measures—

TOMIKAWA Yasuyuki, KUCHIWAKI Nobuto and OBA Hirofumi*

要 旨

本県で菌床栽培によってシイタケを生産されている 1 事業者と同町の生産組合によると、近年は収量が減少しており、これは気温上昇が原因と推測されている。このことを検証するため収穫期間別に収量を集計した結果、2005 年 10 月～2019 年 5 月には減少傾向が認められ、2015 年の 10 月以降はそれ以前よりも明らかに少ない収量で推移していた。また、この 15 年間で子実体の傘直径が大きくなる傾向を認めた。これと同じ 15 年間では、4～5 月の夏日と 7～8 月の猛暑日の日数が増加する傾向を認めた。2018 年の 7～8 月はハウス内上部の日最高温度が日最高気温よりも高い日が計測日数の 87%と大半を占め、35℃以上を 28 日、40℃以上を 6 日認めた。また、同期間の日平均温度は 25℃以上を 53 日、30℃以上を 2 日認めた。これらの温度条件はシイタケ菌を衰弱させ、年とともに猛暑日や夏日が増加したことが収量減少の要因になったと考えられた。1979～2021 年の気候をみると、しだいに年平均気温が上昇し、夏日の日数が増加する傾向がみられた。この傾向は今後も続く予想されるため、シイタケ菌床栽培においては温度上昇を抑制する対策が重要と考えられた。

キーワード：シイタケ、収量、傘直径、温度、気候変動

I はじめに

シイタケ (*Lentinula edodes*) の菌床栽培体系は周年栽培と季節栽培に大別され、このうち暖房設備と冷房設備を備えた周年栽培は年間を通して適切な温度管理ができ、収量と品質は比較的安定するのが特徴である。一方、冷房設備がなく暖房設備のみで行われる季節栽培は周年栽培よりも低

コストであるが、施設内の温度変化が大きくなり、無空調の自然栽培技術を検討された坂田 (1997)、竹内ら (2009) と同様に収量、品質、収穫時期などをいかに安定させるかが課題である。

1993 年から本県でシイタケ菌床を製造され、収穫子実体を共選出荷されている 1 事業者と、同じ地域で事業者による培養済み菌床から子実体を収

*島根県西部農林水産振興センター

穫される生産組合は、毎年の総会において生産実績を総括され、年によっては夏季の高温が理由とされる収量減少を報告している。また、この頻度が近年ほど多くなってきているため、解決策の検討が急務とされている。これを裏付ける全国的な動向として、国内では気温上昇が続いており（気象庁，2013；農水省，2007），シイタケ原木栽培をはじめとする農林水産業の広い分野で気象変動による影響と対策について検討が開始されている（宮崎，2018；宮崎・末吉，2015；農水省，2007）。また、本県においても2021年に「島根県気候変動適応センター」が設置され、情報の収集・提供、相談への対応、調査・研究用務が行われている。

本報告では、上述したとおりシイタケ菌床栽培における収量減少の原因として夏季の高温が疑われた事例について、菌培養と子実体発生管理ともに冷房設備を使用されない季節栽培を対象に検証した。この作型における収量の推移を確認するとともに、該当地域の気温やハウス内温度を集計し、気候変動が及ぼす影響と安定生産を維持するための対応策について述べる。

II シイタケ生産

1. 栽培管理

毎年12月上旬、事業者が1.3kg菌床に種菌を接種され、事業者のハウス（標高360m）で培養された。菌床は接種翌年の6月まで事業者のハウスで管理され、7月上旬に調査対象とした収穫ハウス（標高380m）へ5,000～6,000個/年が搬入された。7月下旬に培養袋が除かれ、10月上旬～翌年5月下旬に子実体が収穫された。

事業者の培養ハウスはかまぼこ型のフレームで、外張りは遮熱資材（タイベック®）、内張りとして上部に遮光資材（ダイオネット®、遮光率80%）、その下に保温資材（サニーコート®）をかまぼこ型に設置された。冷房設備はなく、暖房設備（稼働設定温度15℃）のみを使用された。生産者の収穫ハウスはかまぼこ型のビニールハウスで、夏季にはハウスの外側全体をアルミ蒸着遮熱資材（ダイオミラー®）で覆われ、内張りの仕様と空調条

件は培養ハウスと同じであった。

2. 子実体収量

収量集計に使用したデータは同じ品種で同規模栽培を継続された2005年10月～2019年5月の約

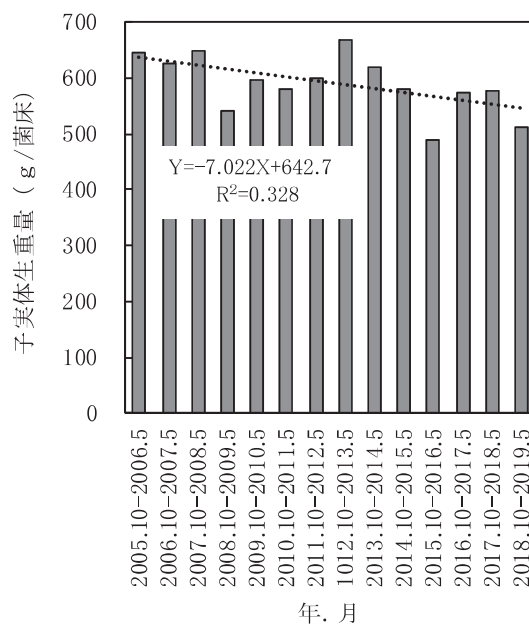


図1 菌床1個当たり収量の推移

...: 期間別収量の回帰直線

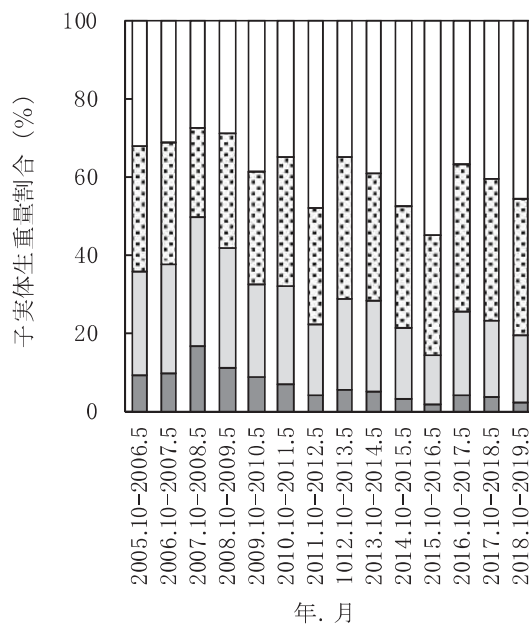


図2 規格別収量割合の推移

■:S, □:M, ▨:L, ▨:2L

15年間分（収穫期間14回）とした。出荷されたパック数と袋数から子実体生重量を算出して、収穫期間別の菌床1個当たり収量と回帰直線を図1に示した。収穫期間ごとの収量は概して減少傾向にあり、回帰式から計算すると1回目の収穫期間から14回目までの間に約100g/菌床が減少した。2015年5月までは収穫期間10回のうち9回は580g/菌床以上であったが、2015年10月以降は4回連続して580g/菌床未満であり、最低は2015年10月～2016年5月の490g/菌床であった。

傘の直径が4cm未満をS、4cm～5cm未満をM、5cm～5.5cm未満をL、5.5cm以上を2Lと区分して、規格別の子実体生重量割合を図2に示した。なお、傘が開きすぎたB品も傘直径の基準から2Lとした。規格別収量割合の推移をみると、SとMが低率となり、2Lが高率となる傾向を認めた。

表1 調査年別4～5月の夏日と7～8月の猛暑日の日数

年	4～5月の夏日	7～8月の猛暑日
2005	14	0
2006	5	1
2007	10	0
2008	10	0
2009	12	0
2010	8	2
2011	9	0
2012	11	0
2013	15	2
2014	12	0
2015	15	1
2016	17	1
2017	18	0
2018	20	8
2019	18	(5)

夏日は日最高気温が25℃以上、猛暑日は日最高気温が35℃以上、2019年7～8月の猛暑日は栽培に関係なし

Ⅲ 温度集計

1. 収量集計期間の気温

収量集計をした2005～2019年において、気象庁のWebサイト（気象庁，2021A）から収量減少につながる予想される気温条件を網羅的に検索した。なお、検索には培養ハウスと収穫ハウスに最も近い気象観測所（各ハウスから約8km、標高250m）の気温データを使用した（2006年以前は旧観測所のデータを使用；各ハウスから約12km、標高310m）。

各年の4～5月に日最高気温が25℃以上（夏日）となった日数と、7～8月に日最高気温が35℃以上（猛暑日）となった日数を表1に示した。4～5月の夏日は、2005～2012年では14日/年以下であったが、2013年以降は2014年を除いて15日/年以上となり、2016年以降は17日/年以上、2018年は最多の20日/年であった。7～8月に猛暑日が観測された年は、2005～2012年の8年間では2年であったが、2013～2018年の6年間では4年と頻度が高くなった。2005～2017年の猛暑日は2日/年以下であったが、2018年は8日/年と顕著に増加した。

2. ハウス内温度

2018年の7～8月、収量集計の対象とした収穫ハウスと外張り、内張りの仕様が同様に、冷房設備のない事業体のハウス（収穫ハウスから3km、標高270m）でハウス内温度を測定した。ハウス中央の栽培棚中段（床から110cm）と栽培棚上段（床から170cm）に自記温度計（ティアンドデイ、おんどとり[®]、TR-72wf）を設置して、1時間間隔で温度を記録した。

1日のうち最も大きい値を日最高温度とし、上述した気象観測所における日最高気温（気象庁，2021A）とともに図3へ示した。栽培棚の中段と上段の日最高温度に大きな差はなかったが、上段の方が若干高くなる日を多く認めた。栽培棚中段の日最高温度が日最高気温よりも高かった日は計測日数の89%にあたる55日で、気温に対する日ごとの温度差は平均1.9℃であった。栽培棚上段については、日最高温度が日最高気温よりも高かった

のは87%にあたる54日で、気温との温度差は平均2.7℃であった。

猛暑日は観測日数の13%にあたる8日であったが(表1)、栽培棚中段が35℃以上になった日は計測日数の40%にあたる25日、栽培棚上段では45%にあたる28日であった。ハウス内温度が40℃以上となったのは、栽培棚中段では7月下旬に42.0℃となった1日だけであったが、栽培棚上段では7月中旬～下旬のうち6日で、最高は44.2℃であった。

自記温度計による1時間間隔の値から算出した日平均温度と、上述した気象観測所における日平均気温(気象庁, 2021A)を図4に示した。栽培棚の中段, 上段および観測所の値に大きな差はなく、

ハウス内温度が気温よりも高い日は7月下旬～8月上旬に数日認められた。夏日は観測日数の79%にあたる49日であったのに対して、栽培棚中段が25℃以上になった日は計測日数の82%にあたる51日、栽培棚上段では85%にあたる53日であった。ハウス内の平均温度が30℃以上となったのは、栽培棚中段では7月下旬に30.7℃となった1日、栽培棚上段では7月下旬のうち2日で、最高は31.5℃であった。

3. 長期的な気温変化

上述した気象観測所における1979～2021年の年平均気温と年間で夏日が観測された日数(気象庁, 2021B)を、気象庁による報告(気象庁, 2013)を

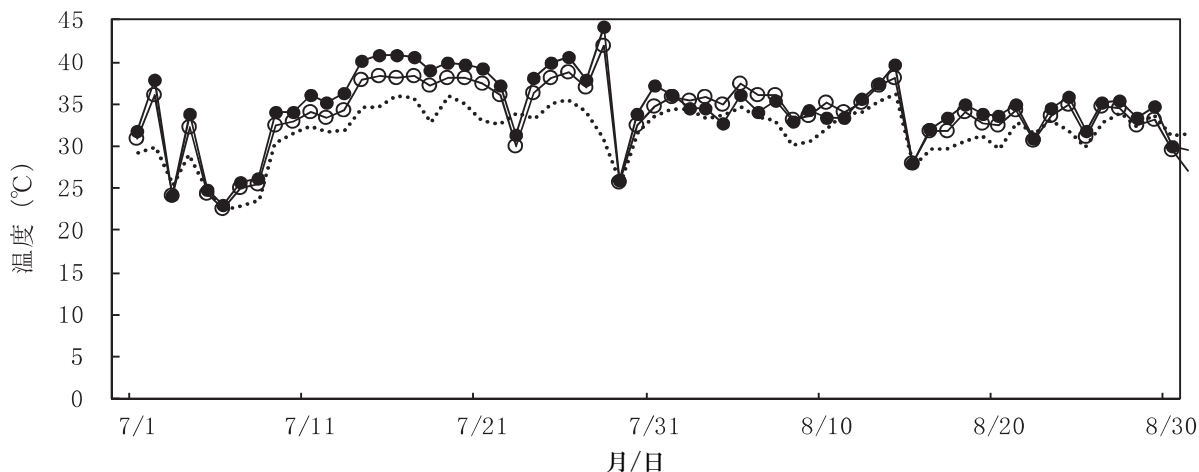


図3 ハウス内最高温度と最高気温の日変化(2018年7月1日～8月31日)

○: ハウス栽培棚中段, ●: ハウス栽培棚上段, …: 最寄りの気象観測所

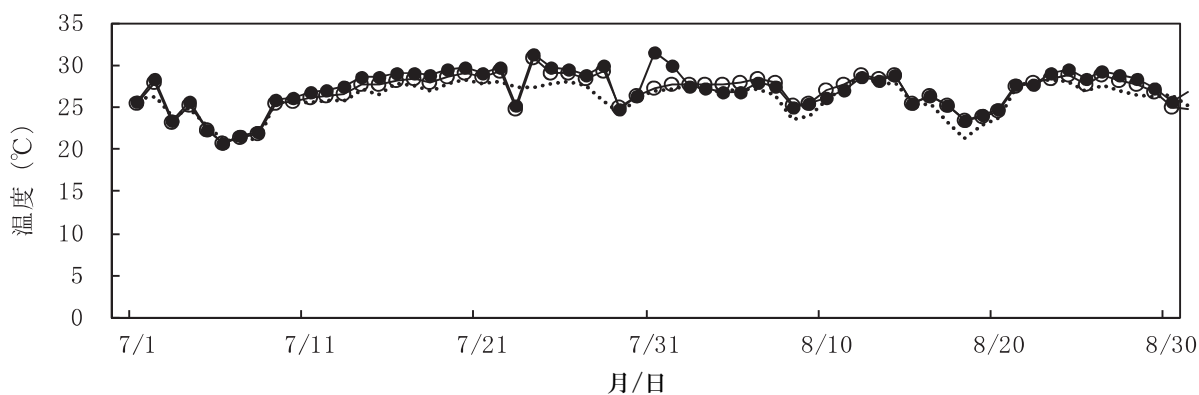


図4 ハウス内平均温度と平均気温の日変化(2018年7月1日～8月31日)

○: ハウス栽培棚中段, ●: ハウス栽培棚上段, …: 最寄りの気象観測所

参考にして以下のとおり集計した。年平均気温からは、2021年以前の30年平均（1991～2020年の年平均を平均）である13.3℃を基準として、各年の年平均気温との差（偏差）を求めた。また、年平均気温と夏日の日数からは1981～2019年の5年移動平均 $[mf(n)=1/5\{f(n-2)+f(n-1)+f(n)+f(n+1)+f(n+2)\}]$ を算出し、各年の5年移動平均の値から回帰式を求めた。

年平均気温の偏差、5年移動平均および回帰直線を図5に示した。約40年間の推移をみると、5年移動平均は1.5℃以上増加し、回帰式によると

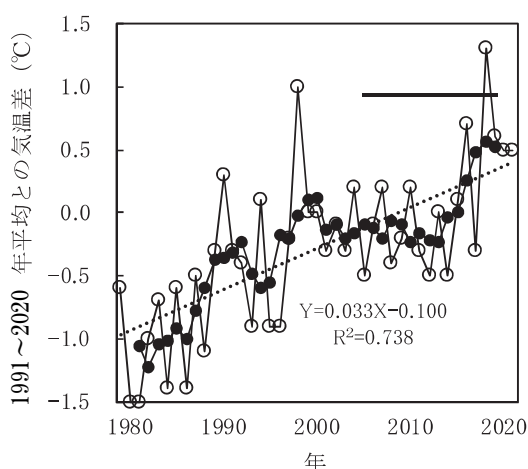


図5 年平均気温の経年変化（1979～2021年）
○：偏差，●：5年移動平均，…：5年移動平均の回帰直線，—：収量集計期間

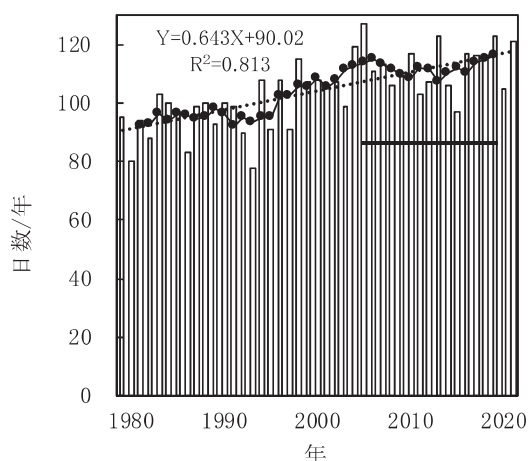


図6 夏日の経年変化（1979～2021年）
●：5年移動平均，…：5年移動平均の回帰直線，—：収量集計期間

1.3℃増加した。また、事業者と生産組合がシイタケ菌床栽培を始められた1993年からは、2019年までの5年移動平均は約1℃上昇し、回帰式によると0.9℃上昇した。収量集計をした期間をみると、2005～2013年の5年移動平均は大きな増減がなく、2013～2019年には約0.8℃上昇した。偏差が0.5℃以上となったのは42年間のうち6年であったが、このうち2016年以降は5年、収量集計をした期間中は3年であった。

夏日の日数、5年移動平均および回帰直線を図6に示した。約40年間で5年移動平均は24日増加、回帰式によると26日増加した。夏日の日数が115日/年以上となったのは、42年間のうち10年であったが、2016～2019年、すなわち収量集計をした最後の4年間は連続して115日/年以上であった。

IV 考察

収量の推移は断続的な増減がみられたものの、集計した期間全体ではやや減少傾向が認められ、収穫期間の終盤にあたる11～14回目では比較的低水準が続いた。今回の調査目的とした、事業者と生産組合が疑われた気温上昇による影響を検証するため、収量減少の要因になり得る条件を検索した結果、4～5月の夏日、7～8月の猛暑日の増加傾向を認めた。また、猛暑日が最も多かった2018年の7～8月は、ハウス内の栽培棚上段が35℃以上となった日数が28日、40℃以上は6日、最高は44.2℃に達した。シイタケ菌床栽培における季節栽培は、収穫時期の違いや収穫期間の長さによっていくつかの作型に区別されるが、本調査で対象にした作型は12月に種菌を接種され、翌々年の6月まで19か月間の管理をされる比較的長期に及ぶ作型であった。この間、冷房設備を使用されない条件で春季2回と夏季1回を経過するため、気温上昇の影響を受けやすかったと考えられる。

シイタケ菌は27℃以上で生長が抑制され、30℃以上では生長を止め、40℃での生存は20時間までであり、45℃では死滅するとされている（中村，1982）。阿部ら（2002）によると、培養の前期，中期，発生処理前にそれぞれ3日間、培養温度を

35℃にした試験ではいずれも収量が減少し、発生処理前においては10日間の30℃処理でも収量減少がみられ、これらは菌糸や原基が衰弱したためと考察されている。本調査で対象にしたハウスにおいても菌糸や原基の活性に対して不適な温度域が認められ、近年は不適条件となる頻度が高くなったことが収量減少の要因の一つと推察される。なお、原基形成刺激が低下する要因として、日最低気温が20℃以上となる日数の増加が考えられるが（中村，1982）、今回の集計では明確な傾向は見られなかった。

規格別収量割合の経年変化からは、傘直径が大きくなる傾向が認められた。T. YAMAUCHI *et al.*

（2009）では子実体の品質を高めるために子実体の発生本数を減らす条件を検討され、培養完了後に27℃で7日間処理することで発生数を抑制する技術が報告されている。本調査対象では夏季の高温が秋季以降の子実体発生数を減少させ、このため個々の子実体は大きさが増大したと推察される。また、4～5月の気温も上昇傾向にあり、これは傘の生長を促進する条件となり（中村，1982）、収穫の遅れが傘直径を大きくした要因になったとも考えられる。傘が開きすぎて肉薄となった子実体はB品として扱われるが、本調査では傘直径から判断して2Lに含めて集計した。この子実体が多くなることは商品性の低下にほかならないため、今後は子実体形状を考慮した集計をして詳細を確認したい。

事業体と生産組合がシイタケを生産された1993～2019年に年平均気温は約1℃上昇し、特に2013年以降の増加が著しかった。年平均気温の推移をみると、生産を開始された1993年当時から収量減少につながりかねない高温条件がありながら、かろうじて安定的な生産を続けられてきたものの近年の気温上昇と夏日の増加によって子実体発生不良が顕在化したと推察される。

気候変動は今後も同様に続いて、さらに気温上昇が進むと予想されるため対応策を検討する必要がある。今後のシイタケ菌床栽培では培養施設、子実体発生施設ともに冷房設備が必須になると考

える。ただし、気温が上昇するほどランニングコストが増えるため、遮熱性の高い資材の設置や細霧冷房などの対策を併用すべきである。坂田（1997）、竹内ら（2009）は簡易施設での不安定な温度条件で、収量への影響が少ない品種を報告されているが、同様に高温耐性の高い品種を選ぶことも有効と考える。

宮崎（2018）、宮崎・末吉（2015）によると、シイタケ原木栽培の病原菌である *Trichoderma harzianum* に対するシイタケ菌の抵抗力は30℃以上で低下し、気温が30℃以上になる日数が多いほどほだ木から *T. harzianum* の分離率が高まるとされている。また、九州地方では同じく原木栽培において *Hypocrea lacteal* と *H. peltata* による被害地が増えており、これらは気温上昇が原因と考えられている。さらに害虫被害については、キノコバエの1種である *Mycetophila ruficollis* は気温上昇によって蛹から羽化までの日数が少なくなり、加害時期が変わると予想されている（宮崎・末吉；2015）。菌床栽培施設においても病害発生の危険性が高くなり、害虫の羽化回数が多くなるため被害が拡大すると推察されるため、予防的防除を強化する必要がある。

V おわりに

気候変動への対策が講じられなかった場合、21世紀の後半は20世紀の後半に比べて国内の平均気温や最高気温は4.5℃程度上昇し、猛暑日などの日数が増加するとされている（気象庁，2017）。現在よりも気温上昇が進めば、高温によるシイタケ菌の生長抑制は深刻な問題となる。本調査では、夏季の高温のみならず春季の気温も収量減少を引き起こした可能性が示された。また、本調査では認められなかったが、今後は日最低気温が20℃以上の日数が増えると予想され、原基形成刺激の低下が心配される（中村，1982）。

これらの対応策として、シイタケ菌床栽培では施設内の温度上昇抑制が最も重要であり、冷房設備を完備した上で、コスト削減のため冷房のみに頼らない対策が必要と考える。また、品種の選択、

病虫害被害回避法の検討も必要である。本調査で対象とした培養ハウスと収穫ハウスは標高が 360 m と 380 m の山間部にあり，県内では比較的冷涼な気温条件であるため，これより標高の低い地域では対策が急がれる。

VI 謝辞

シイタケの出荷数量など貴重な情報を提供していただき，本稿を作成するにあたっては作型やハウスの仕様などを詳細に説明していただいた事業者の代表にお礼を申し上げる。

引用文献

- 阿部正範・飯田 繁・大賀祥治 (2002) シイタケ子実体発生に及ぼす培養温度の影響. 日本応用きのこ学会誌 10(3) : 129-134.
- 気象庁 (2013) 地球温暖化予測情報第 8 巻 : 1-2.
<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/Vol8/pdf/all.pdf> (2021 年 11 月ダウンロード).
- 気象庁 (2017) 地球温暖化予測情報第 9 巻 : 7-22.
<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/Vol9/pdf/all.pdf> (2021 年 11 月ダウンロード).
- 気象庁 (2021A) 過去の気象データ・ダウンロード.
<https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/> (2022 年 1 月ダウンロード).
- 気象庁 (2021B) 過去の気象データ検索.
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2022 年 1 月ダウンロード).
- 宮崎和弘 (2018) きのこの害菌問題に関する研究を通じて一害菌対策の注意点と地球温暖化のきのこ栽培への影響について. 日本きのこ学会誌 26(1) : 10-17.
- 宮崎和弘・末吉昌宏 (2015) 地球温暖化によるシイタケ原木栽培への影響と適応策について. 独立行政法人森林総合研究所九州支所 : 4-13.
- 中村克哉 (1982) キノコの事典. 朝倉書店 : 227-232.
- 農林水産省農林水産技術会議 (2007) 地球温暖化が農林水産業に与える影響と対策. 農林水産研究開発レポート 23 : 1-16.
- 坂田 勉 (1997) 菌床シイタケ夏季自然栽培試験. 森林応用研究 6 : 203-204.
- Takahiro YAMAUCHI, Sumio AYUSAWA, Katsumasa EDA, Kazuya IIZUKA, Shinso YOKOTA, Futoshi ISHIGURI and Nobuo YOSHIZAWA (2009) Flushing control of fruitbodies by temperature and moisture content in sawdust-based cultivation of *Lentinula edodes*. Mushroom Science and Biotechnology 17(1) : 19-23.
- 竹内嘉江・高木 茂・小坂信行・松瀬収司 (2009) シイタケの品質向上・安定生産・新栽培法に関する研究—自然環境を活用した菌床シイタケ栽培法の開発—. 長野県林総セ研報 23 : 73-79.

2022（令和4年）10月発行

発行者 島根県中山間地域研究センター
〒690-3405 島根県飯石郡飯南町上来島1207
TEL (0854) 76-2025 (代)
FAX (0854) 76-3758
URL <https://www.pref.shimane.lg.jp/chusankan/>

印刷所 有限会社 木次印刷
