

研 究 報 告

No.44

平成13年度
(2001年)

沖 繩 県 林 業 試 験 場

〒905-0017 沖縄県名護市大中4丁目20番1号

TEL. 0980-52-2091
FAX. 0980-53-3305

目 次

研究報告

- 森林流域における水土保全事業が水源かん養機能に与える影響 1
－国頭村辺土名の水文試験結果を例にして－

漢 那 賢 作
新 垣 隆
金 城 勝

- 健康・環境に配慮した集成材の製造技術の開発 15
－リュウキュウマツ材における耐水接着性能について－

嘉手苺 幸男

- 未使用樹種の利用開発 19
－カジノキの加工特性および耐蟻性試験－

嘉手苺 幸男

資 料

- ニオウシメジ (*Macrocybe gigantea*) の露地栽培 29
－菌床の長期保管が菌床重量と発生特性にあたる影響について－

比 嘉 享

研 究 報 告

森林流域における水土保持事業が水源かん養機能に与える影響

—国頭村辺土名の水文試験結果を例にして—

漢那 賢作・新垣 隆^{*1}・金城 勝^{*1}

1. はじめに

沖縄本島北部地域は、亜熱帯固有の広葉樹林に被われた標高数百メートルの山々が集中し、その谷間をぬって多くの川が流れている。これとは対称的に、人口の集中する中南部地域は石灰岩を主とする丘陵地形で川は少なく北部地域とは自然条件が異なる。このため、沖縄本島の水供給は北部地域のダム及び河川からの供給がその大半を占めており、これらは北部水源地域、中南部受益地域という形で表現されている。

沖縄の年間降水量は2,000～2,400mmに達し総量としては恵まれているものの、人口密度が高いため、人口一人当たりの年間降水量は全国平均約5,200m³に対し、沖縄本島は約2,100m³と少なく、全国平均の半分以下である¹⁾。これに加えて、年降雨量の約45%は5月～6月の梅雨期と7～10月に襲来する台風によりもたらされるため、空梅雨や台風の少ない年には水不足の傾向を強くする。また、地形的には流路延長が短く、河川の勾配も急であることから、一定の水量を安定的に利用するには不利な地域である。このため、過去1972年～1998年までの27年間に給水制限が実施された年は14回もあり²⁾、県民の水不足に対する不安は潜在的に大きなものがある。

森林には、豪雨による洪水を緩和し、流出量を平準化させ、降雨量の少ない期間においても流出量を安定的に保つ働きがある。これらの働きを「森林の水源かん養機能」という。水源かん養機能は、葉や幹等目に見える森林の地上部の作用よりも、森林が生育する基盤となる健全な森林土壌が、この機能の発揮には重要な役割を果たしている。

沖縄本島の重要な水源地である国頭村辺土名の山岳地帯において、1979年以降、度重なる記録的な集中豪雨により崩壊が頻発した。このため、これら崩壊地の復旧緑化と水土保持施設による流域の保全を図るため、1983年から1986年にかけて「重要水源山地整備治山事業」が県により実施された。これに併せて、事業による水源かん養機能の変化とその評価を行う水文試験地として、雨量計の設置と量水堰の築堤を行い、観測を継続的に行ってきた。

本報告は、これまでに得られた降雨・流出量の水文試験結果より、水文学的評価指標である流域水収支、直接流出、損失雨量、基底流出及び流況曲線の解析を行い、水土保持事業が水源かん養機能に与える影響について検討したものである。

*1 沖縄県農林水産部林務課

*2 沖縄県北部林業事務所

1) 試験地の概要

試験地は、沖縄本島北部国頭村の辺土名地区内に位置する(図-1)。本試験地は安波ダムの集水域内にあり、水資源の供給上重要な流域の一つである。林相は、イタジイを主体とする天然生広葉樹林であったが、1975年より有用樹種への林種転換を図るため、造林事業が積極的に実施されてきた。試験流域の面積及び造林樹種等は表-1に示すとおりである。

当該流域は、1979年9月27日及び1980年9月10日にそれぞれ記録した日降雨量224mm、314mmの集中豪雨等により約120ヶ所の崩壊が発生した。その合計面積は5.19haで、崩壊の形態は、基岩上の表土が深さ1m前後で滑り落ちた表層滑落型が大半であった。崩壊の発生状況は、写真-1に示すとおりである。

その後、これら崩壊地の復旧緑化、治山ダムによる山脚の安定及び流下土砂の防止、森林整備による水源かん養機能の早期回復を図るため、1983年から1986年にかけて「重要水源山地整備治山事業」が実施され、全体計画として、谷止工1基、緑化工6ヶ所、森林整備3.36haが施工された。谷止工の施工当時は写真-2に示すとおりであり、現在、谷止工の上流側は満砂状態にある(写真-3)。

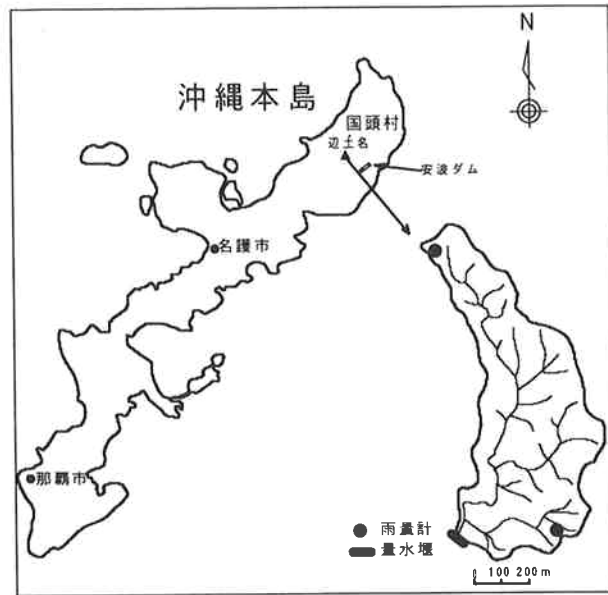


図-1 試験地の位置図

表-1 試験地の概要

流域面積	40.63ha
標高	187~399m
主流長	1345m
流域の平均勾配	27.9°
土壌	斜面の中腹部~山頂 (弱乾性黄色土壌型) 溪流沿いの緩斜面 (適潤性黄色土壌型)
森林植生	リュウキウマツ、イジユ、イコノキ、イマキ 人工造林地(II~VI齢級)



写真-1 崩壊の発生状況

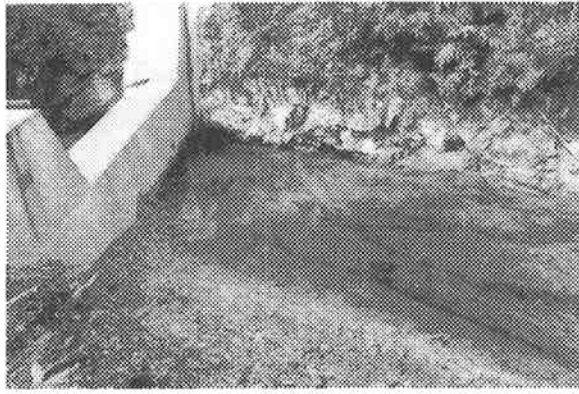


写真-2 谷止工の状況（施工当時）

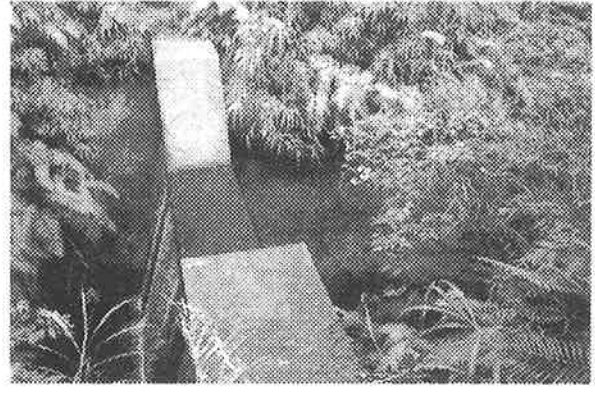


写真-3 谷止工の状況（現在）

本試験流域における崩壊地の箇所数とその後の植生の発生状況等については、漢那ら³⁾が調査している。これによると1972年、1977年、1982年、1988年、1993年とほぼ5年おきに撮影した空中写真を用いて識別した結果、個々の崩壊地は崩壊発生から5年後には植生により判然としなくなること、また、1982年以降に崩壊した15箇所について1994年に現地で調査した結果、全ての箇所が植物により被覆されており、植生別の出現頻度は草本植物ではコシダが65%で最も高く、ヒリュウシダ、ミズスギと続き、木本植物ではイジュ、リュウキュウマツ、アカメガシワ等陽性植物を主体に12種が出現していること等から、空中写真を用いて植生による崩壊地の被覆状況を識別することが可能である、と報告している。その後の流域全体の崩壊発生状況について1997年撮影の空中写真を基に同様に識別した結果、緑のないいわゆる裸地部分は極めて少ないことから、新たな崩壊の発生はごく僅かであるといえる。

2) 試験方法

流量観測は、流域の末端部に幅1.5m、高さ1.0mの長方形堰を築堤し水研62型長期自記水位計を設置して行った（写真-4）。

雨量観測は、転倒ます型自記雨量計を流域内に2ヶ所設置して行い（図-1）、その平均値を流域の雨量とした。

解析に用いた水文資料は、1時間単位で整理された雨量・流量データから作成された「日降雨量・日流出量表」より、年間を通じて欠測なく雨量・流量データの得られた11水年（1987、1990～1991、1993、1996～2002年）である。

直接流出量と基底流出量の分離は、日単位ハイドログラフにおいて日流出量の増加日の前日を起点として、この点とピーク日流出量発生後3日目の点を直線で結び、その線より上部を直接流出量とする勾配急変点法⁴⁾により行った。複数のピークを持つ複雑なハイドログラフについても同様に、最後のピー



写真-4 量水堰の状況

ク日流出量発生後3日目を直接流出の終了点として分離した。また、この期間の全日降雨量を一降雨量として、直接流出量に対応させた。

3. 結果と考察

1) 流域水収支

流域水収支は、次式(1)で表される⁴⁾。

$$P = Q + E \pm \Delta S \quad (1)$$

ただし、P：降雨量(mm)、Q：流出量(mm)、E：蒸発散量(mm)、 ΔS ：流域内貯留量の変化とする。

水収支期間を長くとると、年単位の集計ではP、Q、Eの各項目に較べて ΔS は相対的に小さい値となるので、 ΔS をほぼ0とみなせるようになる。このとき、降雨量と流出量の差が蒸発散量となる。解析期間中の年平均値を用いて(1)式より流域水収支を計算した結果、年降雨量2,896.5mm、年流出量1,783.3mm、年蒸発散量1,113.2mmとなり、年流出率(年降雨量に対する年流出量の割合)は62%である。年蒸発散量の値は、南九州における標準的な値とされる900~1000mm⁵⁾より高い値を示しており、沖縄本島の主要ダム(福地、新川、安波、普久川)流域の1001~1065mm⁶⁾の値と比較してもやや高めの数値であるが、年流出率62%の値は61~74%⁶⁾の範囲内にある。

図-2は、年降雨量に対する年流出量と年蒸発散量の関係を示したものである。年降雨量の増加にともない年流出量、年蒸発散量はともに直線的に増加しており、年単位の水収支からは、降雨量と流出量及び蒸発散量との関係が直線で近似できることが分かった。

年流出率の値は、最低56.5%~最高68.9%であり、この期間の年降雨量2,076.7mm~4,914.3mmの大きな開きを考えれば、それに対する流出率の変化は小さいといえる。

2) 水流出の季節変動

年間を通した降雨に対する流出の応答状況と、年降雨量の多寡による流出量の変化を概観的に把握するため、観測期間中において年降雨量の最小値(2,076.7mm)を記録した1991年を寡雨年、最多値(4,914.3mm)を記録した1998年を多雨年としてハイドログラフを示した(図-3)。ハイドログラフは、降雨に対する流域からの流出量の時間的変化を示した曲線図である。なお、

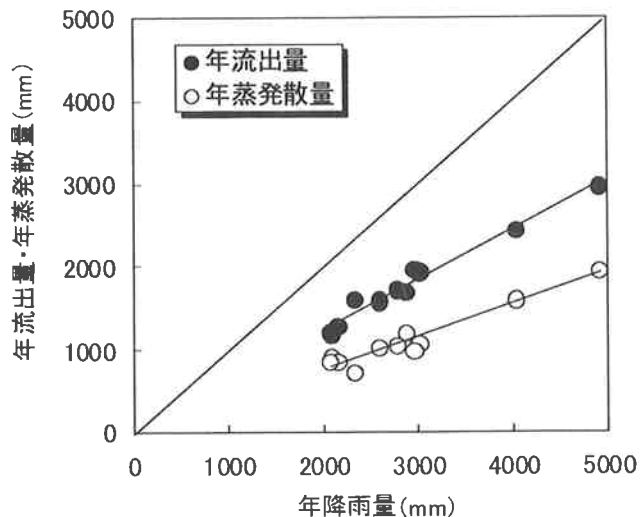


図-2 年降雨量に対する年流出量と年蒸発散量の関係

寡雨年における湧水状況と兩年の季節変化の対比を容易にするため、今回解析に用いた 11 水年の湧水流量（一年間に 355 日間はそれより下らない日流出量）を年毎にそれぞれ求め、その平均値である 0.8mm を図中に横波線で示した。

図-3 を概観すると、水流出の特徴は、①年降雨量の多寡に関係なく、一降雨に対する直接流出の応答が鋭敏で急激な増水と減水を示す。②寡雨年における湧水流量以下の流出量は夏季と冬季に顕著に現れる。③多雨年は寡雨年に比較して、季節に関係なく年間を通じて基底流出量が湧水流量を上回る。ことがあげられる。

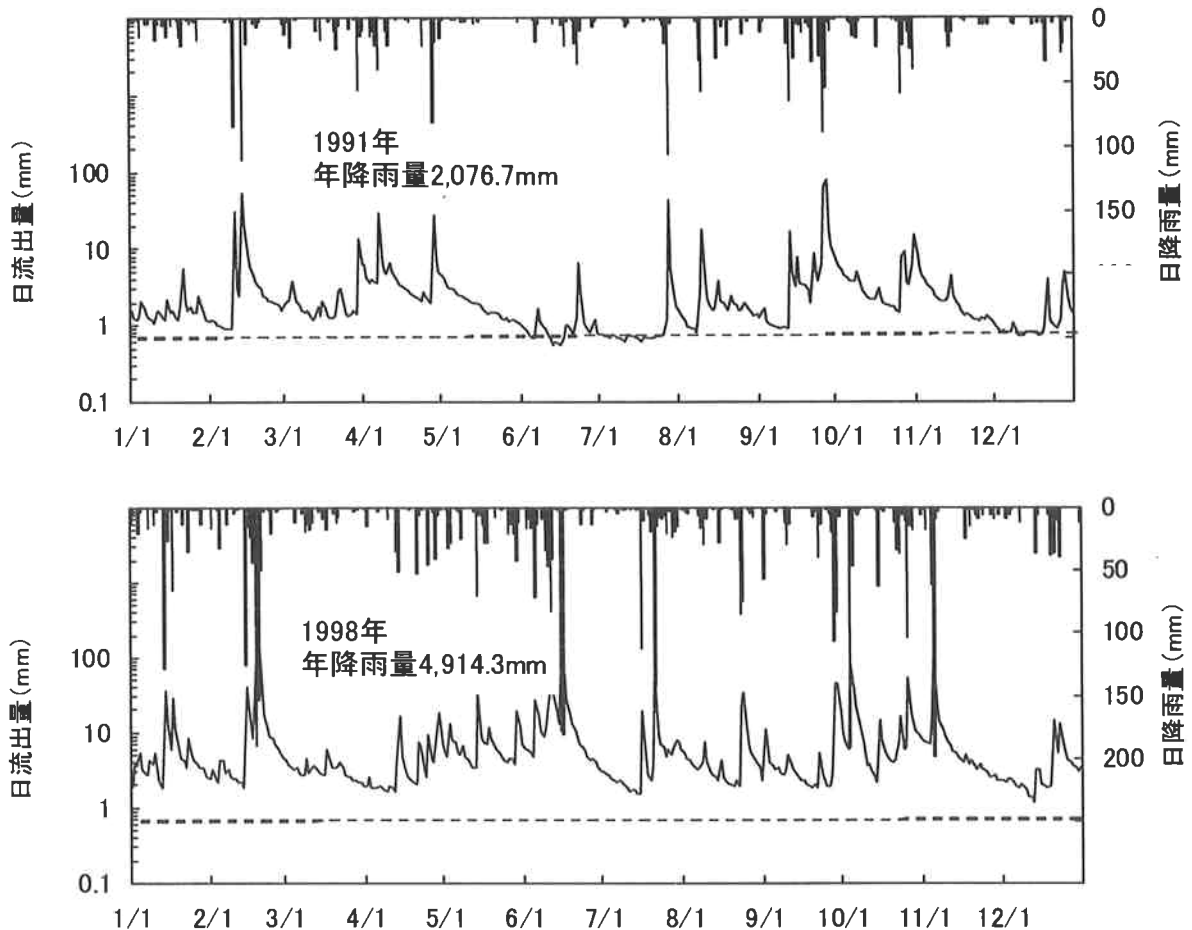


図-3 ハイδροグラフ

3) 直接流出、損失雨量及び基底流出特性

森林流域からの流出成分は、一般に直接流出成分と基底流出成分の 2 成分に分離される。すなわち、直接流出成分は、降雨から流出までの時間が短いもので構成され、基底流出成分は、流出までの時間が非常に長く、流出の状況が直前の降雨の状況にほとんど影響されないものである。ここでは、直接流出と基底流出の分離を行い、それぞれの特性について検討した。なお、解析に当たっては次のことを重視して行った。すなわち、降雨に対する流域からの流出量の時間的变化と流出量の多少は、流域内の湿潤状態によりバラツクのが一般的でありその影響を小さくすること、また過去から現在までの一降雨量に対する直接流出量の変化の判別を容易にすること、を考慮し、観測期間を 1 期 (1987,1990,1991)、2 期 (1993,1996,1997)、3 期 (1998,1999,2000)、4

期 (2001, 2002) にそれぞれ分けて行った。

(1) 直接流出特性

森林流域における一降雨量と直接流出量の関係は次式 (2) で表される。

$$R_d = aPs^b \quad (2)$$

ただし、 R_d : 直接流出量 (mm)、 Ps : 一降雨量 (mm)、 a 、 b : 定数とする。

この式を 1 期～4 期にそれぞれ当てはめると次式 (3)～(6) が得られ、両者の間には高い相関が認められた。これを図示すると図-4 のようになる。

$$1 \text{ 期} : R_d = 0.0032Ps^{1.96} \quad (r = 0.95) \quad (3)$$

$$2 \text{ 期} : R_d = 0.0040Ps^{1.86} \quad (r = 0.93) \quad (4)$$

$$3 \text{ 期} : R_d = 0.0088Ps^{1.69} \quad (r = 0.96) \quad (5)$$

$$4 \text{ 期} : R_d = 0.0088Ps^{1.69} \quad (r = 0.92) \quad (6)$$

1 期から 4 期ともに一降雨量の増加にともない直接流出量は指数曲線的に増加しており、その増加率は初期に小さく、ある降雨量を超えると増大し、その後次第に $Ps = R_d$ 直線に平行となる傾向を示す。

1 期から 4 期までの一降雨量に対する直接流出量の比較を (3)～(6) 式で得られた指数で検討すると、その傾向は図-4 にも示すとおり 1 期より 2 期、2 期より 3 期とその値は小さくなり、一降雨量に対する直接流出量すなわち降雨による増水時のピーク流出量は逡減していることが認められた。

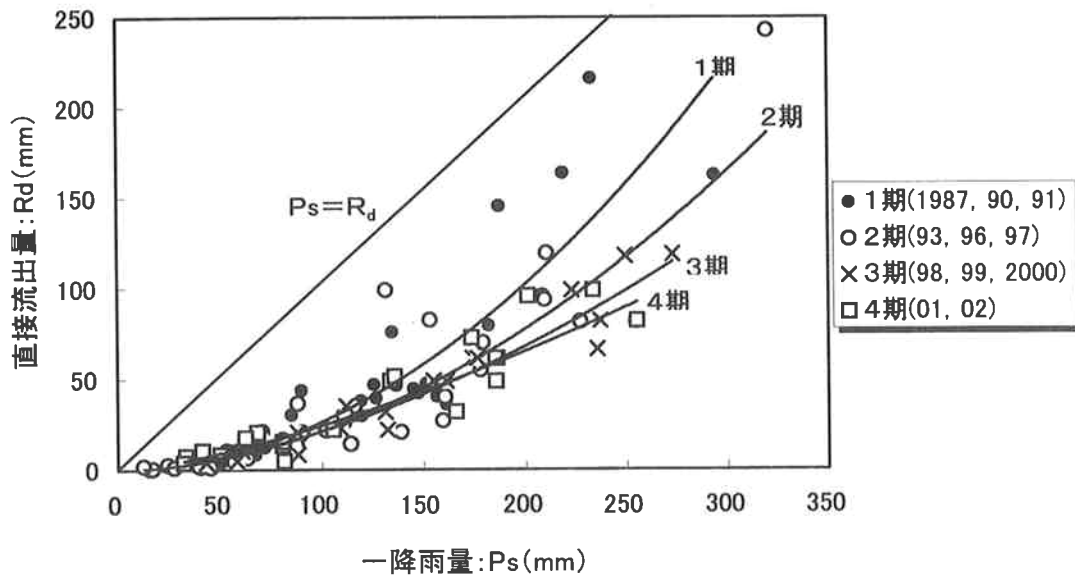


図-4 一降雨量と直接流出量の関係

(2) 損失雨量

一降雨量 (P_s : mm) より直接流出量 (R_d : mm) を引いたものは損失雨量 (L : mm) であり、その関係は次式 (7) で表される。また、損失雨量は遮断貯留量 (I_s : mm)、窪地貯留量 (D_s : mm) 及び土壌水分貯留量 (S_s : mm) の3成分から成り、これらは一時的に森林流域に貯留される雨水で次式 (8) により表される。

$$L = P_s - R_d \quad (7)$$

$$L = I_s + D_s + S_s \quad (8)$$

山地流域では窪地貯留量は極めてわずかであるため⁷⁾、森林流域の損失雨量は森林植生による遮断貯留量と土壌層による土壌水分貯留量の和となる。損失雨量 (主要成分は土壌水分貯留量) の多い流域は、① 直接流出量を減少させ洪水軽減に貢献すること、② 地下水のかん養成分が多いため基底流出量の安定供給に貢献すること、が考えられる。次に、損失雨量に着目し、損失雨量と先に示したピーク流出量の遞減変化との関係について検討した。

一降雨量と損失雨量との関係を示すと図-5のようになる。両者の関係はある極限值 (S : mm) に収束する曲線で示され、この曲線は保留量曲線と呼ばれ次式 (9) で表される。

$$L = S \cdot [1 - \exp(-KPs)] \quad (9)$$

ここで、 L : 損失雨量 (mm)、 S : 最大保留量 (mm) は森林流域に貯留される降雨量の最大値で貯留量と同義、 K : 定数、 P_s : 一降雨量 (mm) とする。

損失雨量は一降雨量の増加に伴い増大し、限りなく最大保留量に近づくが、この値が貯留量の限界と考えられる。しかし実際には流域内の湿潤状態により点がばらつくため (9) 式は平均的な状態での保留量を示す。1期から4期までの保留量曲線は次式 (10) ~ (13) で表される。

$$1 \text{ 期} : L = 95.6 (1 - \exp(-0.0040Ps)) \quad (r = 0.48) \quad (10)$$

$$2 \text{ 期} : L = 116.5 (1 - \exp(-0.0054Ps)) \quad (r = 0.92) \quad (11)$$

$$3 \text{ 期} : L = 165.2 (1 - \exp(-0.0062Ps)) \quad (r = 0.98) \quad (12)$$

$$4 \text{ 期} : L = 168.5 (1 - \exp(-0.0065Ps)) \quad (r = 0.98) \quad (13)$$

図-5より、特に1期は一降雨量が多いほど損失雨量は大きくバラツキ、相関関係は認められなかった。最大保留量は3、4期に比較して1、2期は小さい。これより、図-4の結果と併せると2期まではピーク時の流出量が多く洪水緩和機能が小さかったことが理解できる。式 (12)、(13) より、本試験流域の最大保留量は170mm前後と推定できる。

ここで、最大保留量と流域で実際に調査した土壌水分貯留量の孔隙解析結果について比較検討した。

森林土壌による水流出の調節は、 $pF_{0.6} \sim 2.7$ の孔隙により行われていると考えられている⁴⁾。本試験流域の上流から下流にかける7地点で行った土壌断面調査により土壌試料を孔隙解析し、 $pF_{0.6} \sim 2.7$ の土壌水分貯留量 (S_s : mm) を計算した結果は、弱乾性黄色土は $S_s = 90$ mm、適潤性

黄色土は $S_s=133\text{mm}$ である⁸⁾。本試験流域では、土壤水分貯留量の小さい弱乾性黄色土が広い面積で分布しているため、流域全体の土壤水分貯留量は 100mm 以下と推定される。先に求めた本試験流域の最大保留量は 170mm 前後と推定されており、土壤中に貯留し得る貯留量を最大で 100mm とすると、 100mm 以上～ 170mm 前後までの損失雨量の増加値は谷止工の背後に堆砂した砂礫の効果によるものと考えられる。すなわち、一般に荒廃の著しい流域では谷止工に堆砂する砂礫は粘土やシルト等の微粒子に乏しく、したがって谷止工背後の堆積物は比較的空隙に富んでいて、満砂状態であっても砂礫の空隙が機能的に働き洪水時のピーク流出量が緩和されたものと捉えられる。つまり、損失雨量の増加が結果的に最大保留量の値を高めたものと考えられる。

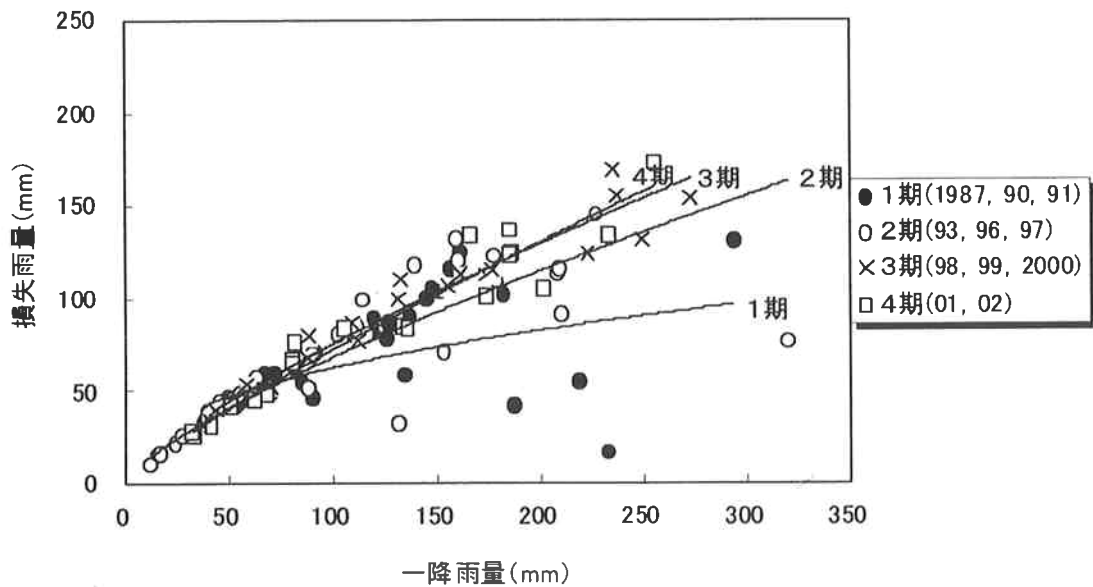


図-5 一降雨量と損失雨量との関係

(3) 基底流出特性

基底流出水（地下水と同義）は、地下の間隙を満たして流動している水であり、その性質から不圧地下水と被圧地下水とに分けられる。不圧地下水は、一般に地表から数十mより浅い地下水であり、その水位は降雨の時間的変動とも応答し地表水と密接に関係しつつ運動するため、森林水文学においては主として不圧地下水を対象としており、次式（9）で表される⁹⁾。

$$Q_G = Q_0 / (b \sqrt{Q_0 t + 1})^2 \quad (9)$$

ただし、 Q_G ：基底流出量（mm/日）、 Q_0 ：初期流出量（mm/日）、 t ：（経過日数）、 b ：地下水逓減係数とする。

地下水逓減係数は、降雨終了から2日目以降の無降雨期間7日以上逓減部を抽出し、（9）式に当てはめ最小自乗法により求めた。なお、地下水逓減係数は、その値が大きいほど無降雨期間が長くなると地下水量の減少度合いが大きくなることを表すため、渇水期緩和機能を評価する一つの指標として用いられている。

初期流量と地下水逡減係数を示したのが図-6である。両者の間には一定の関係が認められず、初期流量の大小に関わらず、地下水逡減係数は0.020前後に集中している。いま、初期流量と地下水逡減係数の関係を1期から4期までそれぞれの平均値と標準偏差で示すと図-7のようになる。平均値は、1期(0.0340) > 4期(0.0210) > 2期(0.0206) > 3期(0.0196)の順であり、その差の検定を分散分析法により行った結果、1期と2~4期との間に有意差が認められた(表-2)。すなわち、地下水逡減係数は1期 > 4期 = 2期 = 3期で表すことができ、1期は他の期間と区別され、地下水量の減少度合いが大きく、湧水緩和機能は低かったものと推測できる。

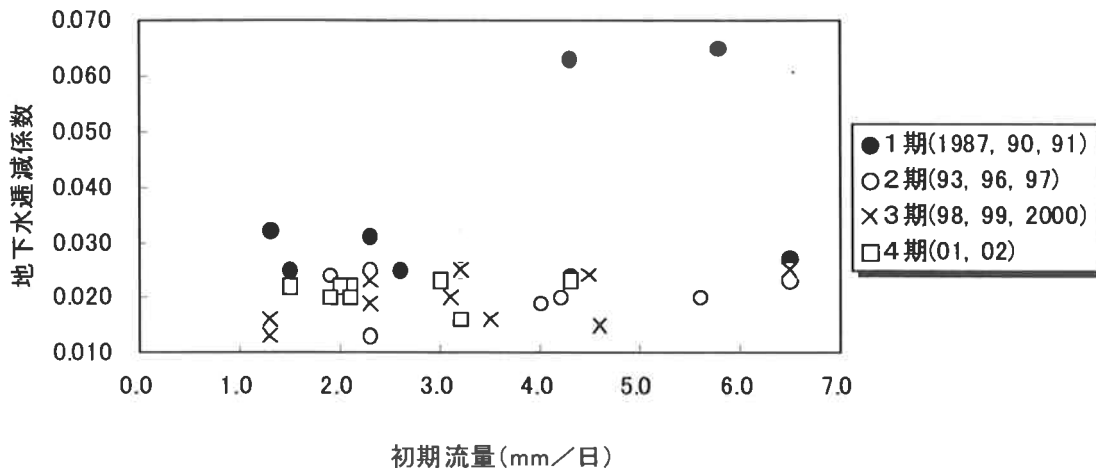


図-6 初期流量と地下水逡減係数

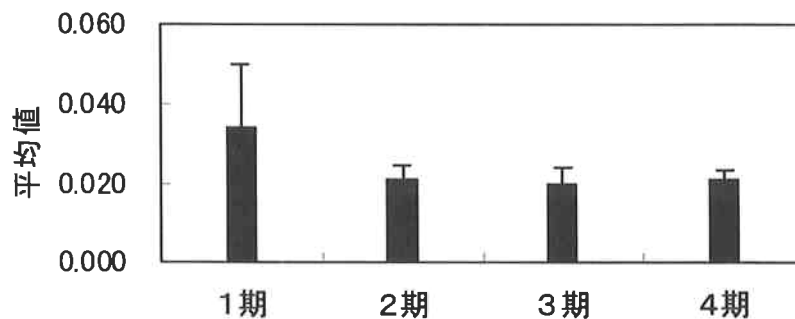


図-7 地下水逡減係数の平均値と標準偏差

表-2 分散分析表

要因	平方和	自由度	平均平方	F値	P値	F(0.95)
期間	0.0014	3	0.0005	5.62	0.0031	2.89
誤差	0.0027	33	0.0001			
合計	0.0041	36				

直接流出特性と損失雨量及び基底流出特性の解析結果より、①一降雨による直接流出量は年とともに徐々に減少すること、②最大保留量の値は1、2期に比較して増加していること、③地下水逓減係数に違いが認められ、1期においては地下水の減少度合いが高かったが、2期以降はそれとは異なるため、事業終了後ある程度の年数（ここでは7年目以降）を要することにより渇水緩和機能は高くなること、が水源かん養機能の変化として把握できた。これらは、水土保持事業の効果として捉えられ、その主な要因は、①事業による崩壊地の緑化並びにその後の植生の自然侵入による緑の回復、②事業による谷止工の堆積土砂の貯留効果、が挙げられるが、その内この流域では、②に拠るところが大きいものと推察される。すなわち、森林土壌のA層の形成は100年間で数cmと考えられており、期間中に増加した最大保留量は、数mm～10mm程度と推定される。一方、谷止工の設置された谷筋では、上流部に堆積した土砂の孔隙中に雨水や渓流水を一時的に貯留されるため、この効果が結果的に直接流出量の減少と、基底流出量の向上につながったものといえる。

水源かん養機能の評価としては、量としての総量が多いことと、質として、それらが利用しやすい流出状態にあることが望まれる。すなわち、河川の年間の流出状態をみた場合に、まず全体としての平均流量が多いことが望まれ、細部的には、洪水性の大流量の値が小さくて、低水～渇水流量等の低水位の流量が大きければ、高い評価が与えられると判断できる。

一方、水源かん養機能は、流域への降雨量に対して発揮されるものであり、年降雨量を基準にした場合、年降雨量のどの程度が水源かん養機能の発揮により利用可能な水量になり得たのかが重要となる。

以上のことを重視し、次に、水源かん養機能の向上が流出量にどの程度寄与したのか解析を行った。

4) 流況解析

森林の水源かん養機能とはいわば流出量を平準化する機能であり、安定した水利用を示す指標を定義して、森林の流出量平準化効果を評価する「流況解析法」がある。流況解析は、流況曲線を基に行われる。流況曲線とは、流域からの流出状況を知るために、1年間にわたる日流出量を縦軸にとって、大きい値から小さい値の順に並び替え、横軸に設けられた発生日数に対してプロットしてえられる曲線である。流況曲線で最高値から数えて95番目の値を豊水流出量とし、1年間のうち95日間は利用できるような水量となる。以下、順に平水流量(185日 \geq)、低水流量(275日 \geq)、渇水流量(355日 \geq)の4つに区分してそれぞれ定義される。本報告では、この4つの区分に日最大流出量と日最小流出量を追加した上で、年降雨量に対するそれぞれの値を求めた(図-8)。

直接流出量で大部分が占められる日最大流出量は、年降雨量の増加にともなう大きな変化は認められないが、豊水流出量、平水流出量、低水流出量は年降雨量の増加にともないそれらも増加し、降雨量の影響を強く受けることが分かる。一方、無降雨期間の流出量である渇水流量、日最小流量においては年降雨量2000mmから3000mmの間で年降雨量の大小に関係なくバラツキが認められる。これらは、渇水状態を生じる連続して雨の降らない日数や、その季節等の影響を強く受けているものと考えられる。

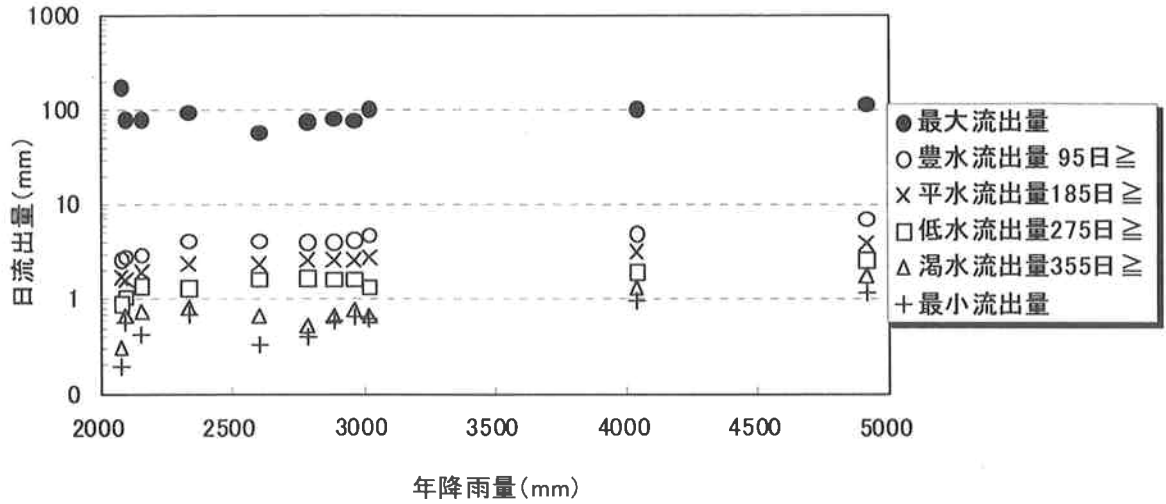


図-8 年降雨量と流況区分値

次に、平準化機能の効果がどの程度発揮されたのかについて調節流出量と非調節流出量による手法を用いて解析を行った。図-9は、それぞれの流出量を模式的に示したものである。年平均日流出量の直線は流域からの流出が完全に均等化された場合の流況曲線と考えることができ、利水の面からは非常に都合良く利用者にとっては理想的な流出状況であるので、平均直線は理想的な流況曲線とも捉えられる。年平均の日流出量の直線より小さく流況曲線より大きい部分は平準化作用により調節されなかつた流出成分であるという意味から非調節流出量と呼ばれ、小さいほど平準化機能は高いとみなすことができる。また降雨量継続曲線は、流況曲線と同様に日降雨量について大きい値から小さい値へ並べ替えたもので、降雨はその日のうちにすべて流出すると仮定した場合の流況曲線であり、現実には地下への浸透が行われるため流出は時間的な遅れをとめない流況曲線の形をとる。したがって、流出量の平準化機能により、降雨量継続曲線から流況曲線に変化させられたことになり、この部分は調節流出量とよばれ、大きいほど平準化機能は高いとみなせる。

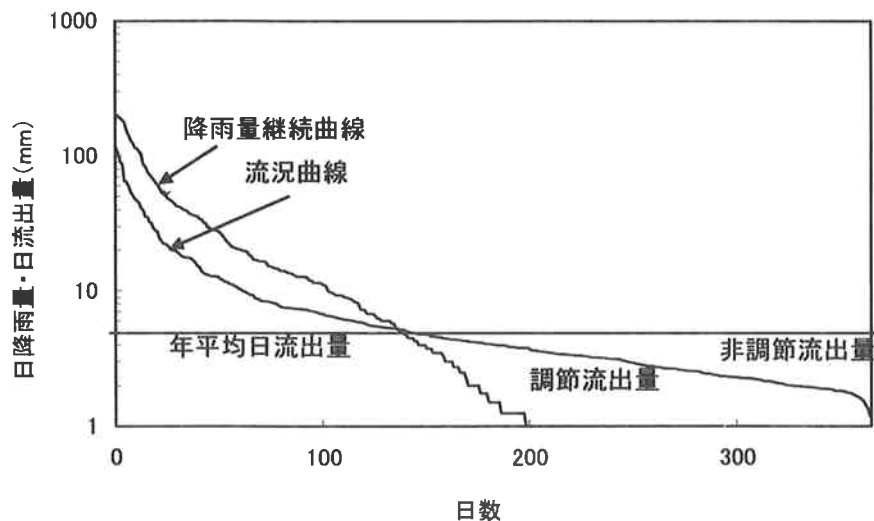


図-9 調節流出量と非調節流出量

いま、年降雨量を基準としてそれに対する調節流出量と非調節流出量を求めると図-10のようになる。何れの年においても調節流出量より非調節流出量の方が多く、また非調節流出量は年降雨量が多いほど増加しており、平準化機能により調節される雨量には限界があるといえる。一方、調節流出量は2,000mmから3,000mmの年降雨量ではバラツキがあり一定の関係は認められないが、ある一定以上の年降雨量（ここでは3000mm以上とする）によって増加し、その値は年降雨量が多いほど多くなるものと推測できる。

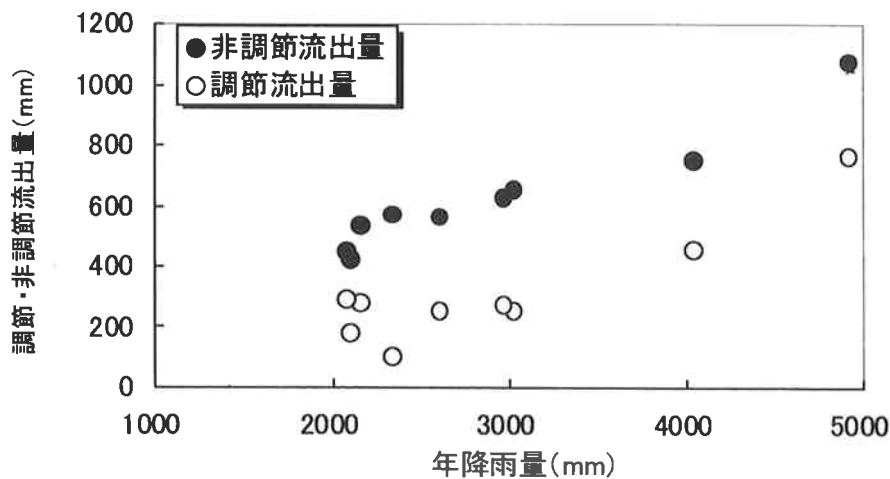


図-10 年降雨量に対する調節流出量と非調節流出量

年流出量に対する調節流出量の割合（調節流出率）と非調節流出量の割合（非調節流出率）を測定年毎に求め、示したのが図-11である。非調節流出率は34%から41%の範囲で変動幅は小さく、それに対して調節流出率は6%から31%でその変化は大きいといえる。ここで、調節流出率の値を測定年順に追うと、若干前後するものの過去から現在にかけて調節流出率が年とともに高くなっていることが読みとれる。

次に、事業効果の程度を判断する一つの日安として、調節流出量を沖縄県民一人あたりの生活使用水量に置き換える方法を用い、観測初年度の1987年と、調節流出率の最高値である2000年との比較を試みた。日本の水資源¹⁰⁾によると、県民一人あたり一日に使用する生活用水は360ℓとなっている。いま、両年の調節流出量を流域面積に掛けリットルに換算すると、それぞれ1987年(287,796人/日)、2000年(864,516人/日)となり、2000年の調節流出量は1987年のそれに比較

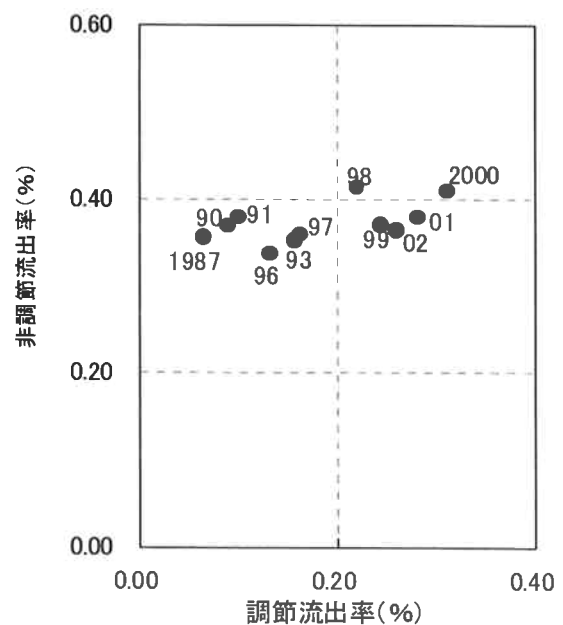


図-11 年流出率に対する調節・非調節流出率

して576,720人分の一日あたり必要とされる生活使用量を確保したことに相当し、割合にして

33%向上したことになる。

4. まとめ

今回、森林流域における水土保持事業が水源かん養機能に与える影響を把握するため、水文資料の解析を行った。

その結果は次のとおりであった。

- ① 解析期間中の年平均値を用いて流域水収支を(1)式より計算した結果、年降雨量 2,896.5mm、年流出量 1,783.3mm、年蒸発散量 1,113.2mm となり、年流出率（年降雨量に対する年流出量の割合）は 62%である。年蒸発散量の値は、沖縄本島の主要ダム（福地、新川、安波、普久川）流域の 1001~1065mm の値と比較してやや高めの数値であるが、年流出率 62%の値は 61~74% の範囲内にある。
- ② 年降雨量の増加にともない年流出量、年蒸発散量はともに直線的に増加しており、年単位の水収支からは、降雨量と流出量及び蒸発散量との関係が直線で近似できることが分かった（図-2）。年流出率の値は、最低 56.5%~最高 68.9%であり、この期間の年降雨量 2,076.7mm~4,914.3mm の大きな開きを考えれば、それに対する流出率の変化は小さいといえる。
- ③ 年降雨量の多寡による流出量の変化を概観的に把握するため、1991 年を寡雨年、1998 年を多雨年としてハイドログラフを作成し対比した（図-3）。水流出の特徴は、1) 年降雨量の多寡に関係なく、一降雨に対する直接流出の応答が鋭敏で急激な増水と減水を示すこと、2) 寡雨年における渇水流量以下の流出量は夏季と冬季に顕著に現れること、3) 多雨年は寡雨年に比較して、季節に関係なく年間を通じて基底流出量が渇水流量を上回ること、があげられる。
- ④ 一降雨量と直接流出量との関係を式(2)より求めた結果、両者の間には高い相関が認められ、一降雨量の増加にともない直接流出量は指数曲線的に増加し、その増加率は初期に小さく、ある降雨量を超えると増大し、その後次第に $P_s=R_d$ 直線に平行となる傾向を示す。また、その傾向は図-4にも示すとおり 1 期より 2 期、2 期より 3 期とその値は小さくなり、一降雨量に対する直接流出量すなわち降雨による増水時のピーク流出量は逡減していることが認められた。
- ⑤ 一降雨量と損失雨量との関係を保留量曲線式(9)で求めた結果（図-5）、本試験流域の最大保留量は 170mm 前後と推定できた。この値は土壤試料の孔隙解析より求めた土壤水分貯留量の最大値（100mm）より多い。すなわち、100mm 以上~170mm 前後までの損失雨量の増加値は谷止工の背後に堆砂した比較的空隙に富む砂礫に貯留されたと考えられる。
- ⑥ 基底流出量を式(9)により求め、地下水逡減係数の差の検定を分散分析法により行った結果、1 期と 2~4 期との間で有意差が認められた（表-2）。すなわち、地下水逡減係数は 1 期 > 4 期 = 2 期 = 3 期として表すことができ、1 期は他の期間と区別され、地下水量の減少度合いが大きく、渇水緩和機能は低かったものと推測できる。
- ⑦ 平準化機能の効果がどの程度発揮されたのかについて調節流出量と非調節流出量による手法を用いて解析を行った。その結果、1) 平準化機能により調節される雨量には限界があること、2) 調節流出量はある一定以上の年降雨量（ここでは 3000mm 以上とする）によって増加し、その値は年降雨量が多いほど多くなること（図-10）、3) 調節流出率の値を測定年潤に追うと、若干前後するものの過去から現在にかけて調節流出率が年とともに高くなっているため（図-11）、平準化機能の効果は向上したといえること、が明らかになった。

引用文献

- 1) 沖縄開発庁：沖縄の振興開発，11，1999
- 2) 沖縄県企業局：沖縄の水，15，1999
- 3) 漢那賢作ほか：日本林学会九州支部研究論文集，No48，175～178，1995
- 4) 水文・水資源学会編集：水文・水資源ハンドブック，pp636，1997
- 5) 地頭菌隆ほか：鹿児島大学演習林報告，No19，43～59，1991
- 6) 山城直ほか：蒸散量調査業務報告書，pp193，沖縄総合事務局北部ダム統合管理事務所，1989
- 7) 藤枝基久：平成 13 年度研究成果発表要旨集，森林総合研究所，2001
- 8) 金城勝ほか：日本林学会九州支部研究論文集，No47，229～230，1994
- 9) 水文・水資源学会編集：水文・水資源ハンドブック，193，1997
- 10) 国土庁長官官房水資源部：日本の水資源，157，大蔵省印刷局，2000

健康・環境に配慮した集成材の製造技術の開発

－リュウキュウマツ材における耐水接着性能について－

嘉手苅 幸男

1. はじめに

前報においては¹⁾、ノンホルムアルデヒド接着剤である水性高分子・イソシアネート接着剤 KR-7800 を用いて本県の主要な3樹種（イタジイ、イジュ、リュウキュウマツ）に対する常態、耐水、耐温水せん断強度試験を行った。その結果、常態試験では各樹種とも無垢材に対してほぼ同程度のせん断強度を示し、木部破壊率は70%以上の値を示した。耐水・耐温水試験におけるイタジイ、イジュのせん断強度は常態試験値の70%程度の値を示した。しかし、リュウキュウマツ材ではせん断強度の低下が著しく、常態せん断強度の1/3の値を示すにとどまった。

このため、リュウキュウマツ耐水試験におけるせん断強度の改善を図ることを目的として、架橋剤（硬化剤）の添加割合を標準値の15部から20、25部の水準で添加し、架橋剤の増量が耐水せん断強度及び木部破壊率に及ぼす効果を検討した。

2. 材料および試験方法

1) 供試材料

供試材料として、人工乾燥処理を行った厚さ25～35mmのリュウキュウマツ材(*Pinus luchuensis* Mayr)を用いた。供試材料の比重は0.58～0.83、含水率は12.3～13.4%であった。

2) 試験方法

(1) 接着ブロックせん断試験

接着ブロックせん断用として、100 mm（幅）、10 mm（厚さ）、300 mm（長さ）のラミナを作成し、接着は板目・柾目木取りとなるよう接着を行った。接着剤は、水性高分子・イソシアネート系木材接着剤 KR-7800（高耐久性、難接着材用）を用いた。接着剤の配合割合は、重量比で主剤100部に対して架橋剤20部と、25部の水準で添加した。接着剤の塗布量は 300 g/m^2 とし、片面塗布を行いハンドローラを用い均一になるよう丁寧に行った。圧縮作業は油圧プレスを用いて行った。圧縮圧力は、 10 kgf/cm^2 とした。圧縮温度は25°Cに設定し、圧縮時間は4時間とした。接着試験材の養生は室温にて1週間とした。養生後にJAS規格の接着ブロックせん断試験片を、耐水せん断試験用として連続して作成し各々40個、合計160個作成しそれぞれの試験に供し、耐水せん断強度と木部破壊率を求めた。

2) 接着性能の評価

接着性能の評価は、JIS K 6852「接着剤の圧縮せん断接着強さ試験法」およびJAS規格に基づいた造作用集成材の浸せきはく離試験によって行った。

耐水ブロックせん断試験は、試験片を $30 \pm 1^\circ\text{C}$ の水中に3時間浸せきしたのちに、 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ の水中に10分間浸せきし、ぬれたままの状態で行った。

3. 結果および考察

1) 耐水ブロックせん断強さ

添加量 20、25 部及び標準添加量 (15 部) に対する耐水ブロックせん断強さを表-1 に示した。架橋材 20 部添加処理後では、板目接着せん断強度値は 53.1kgf/cm^2 の値を示し、標準添加量でのせん断強度値 49.9kgf/cm^2 と比較して、せん断強度値の向上についての効果はほとんど見られなかった。同様に、柁目接着せん断強度値は 52.9kgf/cm^2 の値を示し、標準添加量でのせん断強度値 49.7kgf/cm^2 と比較して、せん断強度値の向上についての効果は見られなかった。

架橋材 25 部添加処理後では、板目接着せん断強度値は 51.7kgf/cm^2 の値を示し、標準添加量でのせん断強度値 49.9kgf/cm^2 と比較して、せん断強度値の向上についての効果は見られなかった。同様に、柁目接着せん断強度値は 47.1kgf/cm^2 の値を示し、標準添加量でのせん断強度値 49.7kgf/cm^2 と比較して、せん断強度値の向上についての効果は見られないことが示された。

図-1 に添加量 20 部における板目及び柁目接着処理でのせん断強度と比重との関係を示した。板目接着処理後のせん断強度と比重との関係においては、相関関係はほとんど無いが、比重が高くなるにともない強度のバラツキが大きくなる傾向を示した。

柁目接着処理後のせん断強度と比重との関係においては、比重が高くなるにつれせん断強度は増加する傾向を示し、比重が低い試験片は強度のバラツキが大きい傾向を示した。

図-2 に添加量 25 部における板目及び柁目接着処理でのせん断強度と比重との関係を示した。板目接着処理後のせん断強度と比重との関係においては、相関関係はほとんど無い。

柁目接着処理後のせん断強度と比重との関係においては、比重が高くなるにつれせん断強度は増加する傾向を示すが、せん断強度は 61kgf/cm^2 程度の値を示すに留まった。

表-1 せん断強さ

添加量	板目せん断強さ			柁目せん断強さ		
	平均	最大	最小	平均	最大	最小
15部	49.9	60.8	36	49.7	65.8	38.4
20部	53.1	65	35.2	52.9	58.4	45.6
25部	51.7	59.2	44.8	47.1	61.6	36.8

単位 kgf/cm^2

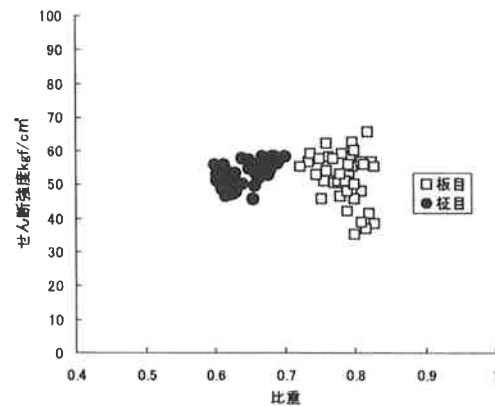


図-1 せん断強度(20部)

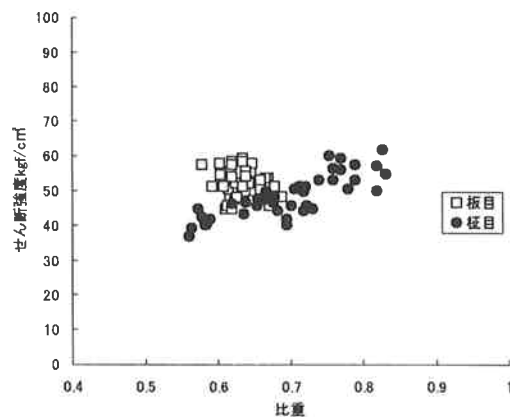


図-2 せん断強度(25部)

リュウキュウマツ材の耐水接着性能の向上を目的として、架橋材の添加量を標準添加量の15部から20、25部と増加させ接着処理を行い、接着せん断強さを測定した。リュウキュウマツにおける接着せん断強さは、架橋材の添加量及びいずれの接着面においても接着せん断強さの向上は見られなかった。

2) 耐水処理での木部破壊率

耐水処理下での、添加量20・25部及び標準添加量(15部)における木部破壊率と常態接着処理での木部破壊率を図-3に示した。常態接着処理では、板目・柁目接着とも70%以上の木部破壊率を示した。架橋材20部添加処理後では、板目接着での木部破壊率は2.3%の値を示し、標準添加量での木部破壊率は12.1%の値を示し、木部破壊率は低下した。柁目接着での木部破壊率は13%の値を示し、標準添加量での木部破壊率20.0%より低下した。

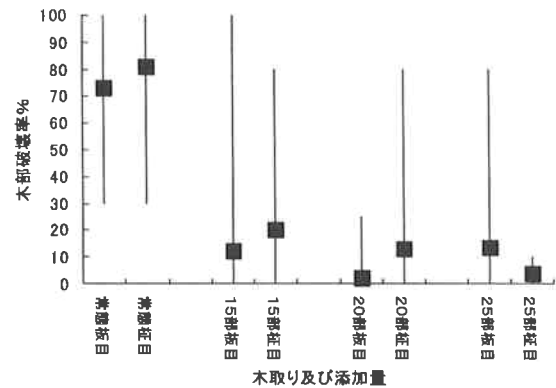


図-3 木部破壊率

架橋材25部添加処理後では、板目接着での木部破壊率は13.5%の値を示し、標準添加量での木部破壊率とほとんど増減は無かった。柁目接着での木部破壊率は4%の値を示し、標準添加量での木部破壊率20.0%より大きく低下した。木部破壊面の破壊状況は、そのほとんどが接着界面部分で発生した。また、破壊後のほとんどの接着試験片面に水分の浸透が見られた。これらのことから、リュウキュウマツ材においては、架橋材の添加量を増加しても、木部破壊率の向上には効果が無いことが明らかになった。このように、リュウキュウマツ材において木部破壊率が低い原因としては、材の吸水性が大きいいため材内部に水分が拡散し接着層面に影響を与えていると考えられた。

4. まとめ

リュウキュウマツ材の耐水試験におけるせん断強度の改善を図ることを目的として、ノンホルムアルデヒド接着剤である水性高分子-イソシアネート系木材接着剤KR-7800(高耐久性、難接着材用)を用いた。架橋剤(硬化剤)の添加割合を標準値の15部から20、25部の水準で添加し、耐水せん断強度及び木部破壊率に対する効果を検討した。結果を取りまとめると以下のとおりである。

- 1) 架橋材の添加量を標準添加量の15部から20、25部と増加させ接着処理を行い、接着せん断強さを測定した。リュウキュウマツにおける接着せん断強さは、架橋材の添加量及び何れの接着面においても接着せん断強さの向上は見られなかった。
- 2) 木部破壊率は、架橋材の添加量を20、25部と増加させ接着処理を行った結果、標準添加量と比較して木部破壊率の向上は無かった。
- 3) 破壊面のほとんどが接着界面部分での破壊であった。これらの原因として、リュウキュウマツ材における吸水性が大きいことが考えられた。

引用文献

- 1) 嘉手苺幸男：沖縄県林業試験場報告 No42、1～8、1999

未利用樹種の利用開発

ーカジノキの加工特性および耐久性試験ー

嘉手苺 幸男

1. はじめに

クワ科に属するカジノキは落葉高木で大きなものは樹高が16mにもなり、中国中南部からアジア暖帯・熱帯、インドシナ、ポリネシアに広く分布し、各島の村落などの低地に点在する。材質は軽軟で工作が容易で年輪明瞭、辺材は淡灰色で心材は淡褐色を呈している。用途としては、樹皮の繊維部分は和紙の原料として著名である。材は小道具を作るのに用いられ、葉は家畜飼料となる¹⁾。また、用材としては、首里城正殿の御差床縁・天井縁、1階床の間縁・床板などに使用されたと史料に記されている²⁾。

今回、大宜味村内で樹高15m、胸高直径39cmのカジノキから材長2mの材を3玉入手することができた。未利用樹種であるカジノキの基礎的な材質、加工性、耐久性に関するデータを明らかにしこれら未利用樹種の利用開発の基礎的な資料を得るために、比重、乾縮率、乾燥性、各種強度、接着性、耐蟻性の試験を行ったのでその結果を報告する。

今回、試験を実施するにあたり、供試材の製材作業を引き受けていただいた、名護林業生産加工販売組合に厚くお礼申し上げます。

2. 材料および試験方法

1) 供試材料

供試材料には樹高約15m、胸高直径39cm、樹齢約25年のカジノキ (*Brossonetia papyrifera* Vent) を用いた。伐倒後に材長約2.0mで玉切りを行い3玉を採取した。玉切りした材は、直ちに材厚30mmの耳付き材に製材した後に、生材を用いた乾縮率試験片および、急速乾燥試験片を作成した。残りを天然乾燥試験材とし、気乾状態に達した後に各種強度試験片、接着試験片、耐蟻試験片、耐朽試験片を作成し、試験に供した。

2) 試験方法

(1) 乾縮率試験

乾縮率は、辺長30mm、厚さ5mmの正しい二方桁の正方形の木口試験片を作成し、接線方向(T方向)と放射方向(R方向)の2方向について測定した。

繊維方向(L方向)測定用として、長さ60mm、幅30mm、厚さ5mmの正しい平桁板を作成し、各試験片の含水率1%に対する乾縮率と全乾縮率および気乾比重を求めた。

(2) 乾燥特性試験

乾燥特性試験では、急速乾燥(100°C)試験を行った。試験片は生材状態で厚さ20mm、幅100mm、長さ200mmの鉋がけをした無欠点の正しい板目試験片を作成した。これらの試験片を100~105°Cに調整した恒温乾燥機を用いて、生材から全乾状態まで乾燥を行い、その間に試験片に

発生する初期割れ、断面変形、内部割れの損傷の程度を分類した。それぞれの損傷ランクを5段階に分類し、損傷の程度により初期乾球温度、初期乾湿球温度差、末期乾球温度を求めて乾燥スケジュールを作成した。

(3) 天然乾燥試験

天然乾燥試験は、製材した材厚 30 mm の耳付き材 20 枚を用いて、一辺 20 mm の栈木を使用し栈木間隔を 600 mm として、直射日光を避け通風のある屋内にて天然乾燥を行った。天然乾燥処理では、含水率測定用のサンプルボード重量減少変化がほとんどなくなる時点まで行った。

(4) 材の色調

材の色調は、気乾状態の供試材を用いて、プレーナ仕上げをした 100 mm (幅)、20 mm (厚さ)、320 mm (長さ) の板目・柾目板を各 20 個作成し、供試材の中央部を測定した。色調の測定には分光測色計 CM-500 (ミノルタ社製) を用い、測定値は $L^*a^*b^*$ 表色系で表示させた。他の樹種と材色の差異を比較検討するため、イタジイ、リュウキュウマツ材の材色も同時に示した。

(5) 曲げ強度試験

曲げ強度試験は、気乾状態の供試材から 20 mm (幅)、20 mm (高さ)、320 mm (長さ) の無欠点試験片を 40 個作成した。曲げスパンを 280 mm に設定し、中央集中荷重として中央部にデジタルゲージを取り付け、変形量を測定し曲げ強さと曲げヤング率を求めた。

(6) 縦圧縮試験

縦圧縮試験は、荷重方向と繊維方向が平行で圧縮断面が正方形の直六面体とし、辺長 20 mm、高さ 50 mm の試験片を 40 個作成し試験に供した。

(7) ブロックせん断試験

ブロックせん断試験は、100 mm (幅)、20 mm (厚さ)、300 mm (長さ) の供試材から板目、柾目木取り無垢材ブロックせん断試験片を各々 40 個作成し試験に供した。

(8) 接着ブロックせん断試験

接着ブロックせん断試験は、100 mm (幅)、10 mm (厚さ)、300 mm (長さ) のラミナを用い、接着には市販の速乾性ポリ酢酸ビニル樹脂エマルジョン接着剤 (PVAc) を使用した。接着剤の塗布量は $250\text{g}/\text{m}^2$ とし、ハンドローラで均一に丁寧に塗布した。圧縮には油圧プレスを用い、圧縮圧力は $15\text{kgf}/\text{cm}^2$ とした。圧縮温度は 25°C 、圧縮時間は 60 分とし板目・柾目接着になるよう 2 枚を接着し 2 プライの接着板材を作成した。2 週間の養生後に接着ブロックせん断試験片を各々 40 個作成し試験に供し、接着強度と木部破壊率を求めた。常態接着性能は、JAS 規格に基づいたブロックせん断試験により評価した。

(9) 浸せきはく離試験

浸せきはく離試験は、100 mm (幅)、20 mm (厚さ)、300 mm (長さ) のラミナを用いて各々板目接着、柾目接着になるよう接着し、4 プライの接着板材を作成した。接着剤には、市販の速乾性ポリ酢酸ビニル樹脂エマルジョン接着剤 (PVAc) を用いた。PVAc は市販の状態で使用し、接着剤の塗布量及び塗布操作は、接着ブロックせん断試験と同様な操作を行った。養生後に 40 mm (幅)、75 mm (厚さ)、80 mm (長さ) のはく離試験片を作成し試験に供した。耐水接着性能は、JAS 規格に基づいた造作用集成材の浸せきはく離試験により評価した。

(10) 小ブロック試験

小ブロック試験は、カジノキの心材部分から 1 mm (幅) × 1 mm (高さ) × 2 mm (長さ) の直方体試験片を作成し、 $60 \pm 2^\circ\text{C}$ で 48 時間乾燥し試験前の恒量を求めた。シロアリ飼育容器としてはシ

シャーレ（直径9 cm、高さ2 cm）の中に塩化ビニール製円筒（直径8 cm、長さ6 cm）を縦に組み合わせたものを用いた。飼育容器に川砂約100 gを入れ、川砂が湿る程度の蒸留水約10 mlを加え、プレパラートを川砂の上に置きその上に試験片を設置した。そこに、イエシロアリ（*Coptotermes formosanus* Shiraki）職蟻150頭、兵蟻15頭を投入し、25～28℃に調節した恒温器で21日間飼育した。試験終了後、試験片を取り出し試験後の恒量を求め、試験片の重量減少率を算出した。また、対照材としリュウキュウマツの辺材部分を用いた。イエシロアリによる小ブロック試験は（社）日本木材保存協会の試験方法に準じた³⁾。

(11) 木粉試験

木粉試験は、カジノキの心材部分から粉碎機を用いて木粉にし、木粉試料3 gをシャーレー（直径9 cm、高さ2 cm）に入れ、蒸留水約8 mlを加え、よくかき混ぜてシャーレの片側に置いた。それにイエシロアリ職蟻30頭、兵蟻3頭を投入して、25～28℃に調整した恒温器で2週間飼育し、24時間毎に死虫数および死亡状況を観察した。飼育終了後に残存頭数を調べた⁴⁾。また、対照材としてリュウキュウマツの辺材部木粉を用い同様な試験を行った。

(12) 耐朽性試験

耐朽性試験は JIS Z 2101 の木材の耐朽性試験方法に準じて行った。木材腐朽菌としてオオウズラタケ (*Fomitopsis palustris* (Berk. et Curt.) Gilbn. & Ryv., FFPRI 0507)、カワラタケ (*Trametes versicolor* (L.: Fr.) Pilat FFPRI 1030) の2種類を用いた。

試験片の寸法は20(R)×20(T)×20(L)mmとし、すべて心材部分を用い1樹種当たり18個の試験片を供試した。

試験片を60±2℃で48時間乾燥して腐朽前の恒量を求め、試験片を滅菌後にオオウズラタケ、カワラタケを前培養した培養びん中に試験片を繊維方向を垂直にし、培養びんごとに3個ずつ載せ温度26±2℃、湿度70%に調整したインキュベーター内に60日間置いて腐朽させた。この操作を1樹種当たり3回繰り返した。また、対照材としてブナ辺材を用いた。

耐朽試験終了後、表面に付着した菌体を丁寧に除去し、約20時間風乾した後に60±2℃で48時間乾燥し腐朽後の恒量を求め各菌種別に重量減少率を算出した。

3. 結果および考察

1) 乾縮率と気乾比重

カジノキの乾縮率と気乾比重を表-1に示した。含水率1%に対する平均乾縮率は接線方向で0.34%、放射方向で0.19%を示し、県産樹種の中では、リュウキュウマツ、ヤブニッケイ、イスノキと同程度の乾縮率^{5, 6, 7)}を示し乾縮率はやや大きな値と言える。このことは、含水率の変化に伴う木材の収縮割合が比較的大きいことを示し、カジノキの寸度安定性はやや悪く乾燥による材の歩留まり低下が大きいことが予想される。繊維方向の乾縮率は0.02%の値を示した。気乾比重は平均値で0.53の値を示し、スギ、イヌマキ、ハンノキ、エゴノキ等の比較的加工性の良い樹種の範囲内に入るが、比重の割には各種収縮性は大きい値を示した。

表-1 気乾比重と乾縮率

気乾比重	含水率1%に対する平均乾縮率(%)			全乾縮率(%)		
	平均0.53	接線方向	放射方向	繊維方向	接線方向	放射方向
0.44~0.64	0.34	0.19	0.02	8.49	4.1	0.58

2) 急速乾燥試験

急速乾燥(100℃)試験の結果を表-2に示す。初期割れに伴う木口に発生する割れは非常に小さく損傷のランクはNo2、木口部に微細な割れが3~4個発生し、木口面から材面にかけても1~2個の細く短い割れが見られた。断面変形における損傷のランクはNo1、乾燥試験材断面に目立った変形は発生することなく、非常に軽微な値を示した。内部割れは試験した断面には割れが殆ど発生しなかったためランクNo1となった。

試験片におけるそれぞれの損傷の程度を基にして厚さ27mmの実大材に対する初期乾球温度、初期乾球温度、初期乾湿球温度差、末期乾球温度を求めるとそれぞれ60℃、5℃、90℃となった。これらの値から表-3に示すような含水率段階に対応させた人工乾燥スケジュールを調整した。

3) 天然乾燥試験

広葉樹の乾燥においては、一般的に天然乾燥と人工乾燥を併用することが多い。これは、広葉樹を生材から直接人工乾燥処理を行うと、乾燥まで長時間を要し、材の損傷が大きいため歩留まりが大きく減少するためである⁸⁾。このため、カジノキにおいても天然乾燥試験を行い、含水率が20%程度になるまでの時間を求めた。

カジノキの初期含水率は105~115%と比較的高い値を示している。天然乾燥において含水率が1/2程度まで低下するのは乾燥開始後20日前後と比較的速い。その後の乾燥速度が緩やかになり70~80日前後で含水率20%

表-2 損傷の種類及び程度

試験片No	損傷の種類及び程度		
	初期割れ	断面変形	内部割れ
K-1	No 1	No 1	No 1
K-2	No 2	No 1	No 1
K-3	No 1	No 1	No 1

表-3 人工乾燥スケジュール

含水率 %	乾球温度 °C	温度差 °C	湿球温度 °C
生~60	60	5	55
60~50	60	7	53
50~40	65	12	53
40~35	76	18	58
35~30	85	25	60
30~	90	28	62

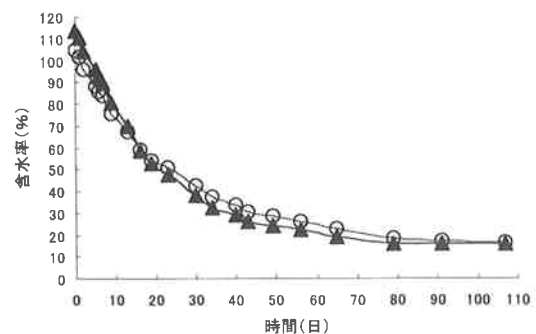


図-1 天然乾燥経過

に達した（図-1）。

4) 材の色調

カジノキの色調を図-2に示す。明度L*は77.5~86.9の範囲内にあり、白色方向に大きい値を示した。イタジイ、リュウキュウマツの明度L*に対しても白色方向へ値の大きさが明らかである。色彩a*は1.5~3.3、色彩b*は17.4~21.5であり、各色彩は比較的狭い範囲に集中していることから、色彩の変動幅が小さいことを示している。このことから、カジノキの色調は淡黄白色から白色に近く、また、辺材と心材の色調の差はほとんどなかった。

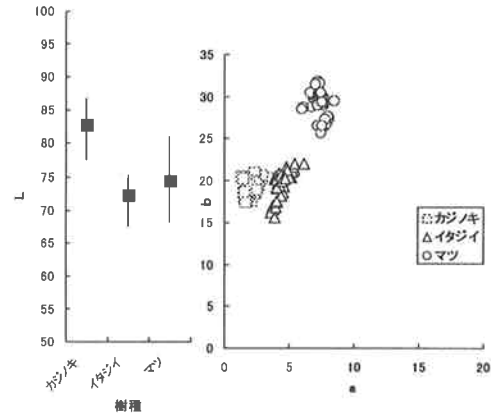


図-2 各樹種の明度と色差

表-4 カジノキ各種強度試験結果

	曲げ強さ MOR in static bending (kgf/cm ²)	曲げヤング係数 MOE in static bending (10 ³ kgf/cm ²)	圧縮強さ Compressive strength (kgf/cm ²)	せん断強さ Shearing strenght	
				板目面 (kgf/cm ²)	柱目面 (kgf/cm ²)
平均値					
AV	694.7	81.6	381.8	126.6	116.6
最大値					
MAX	792.8	100.1	445.0	142.4	128.0
最小値					
MIN	530.3	47.6	322.5	112.8	106.4
標準偏差					
S.D	63.8	10.7	28.9	7.0	5.8

5) 曲げ強さ

カジノキの曲げ強さの結果を表-4に示す。曲げ強さは、平均値で694.7kgf/cm²、最大値792.8kgf/cm²、最小値530.3kgf/cm²の値を示し、曲げヤング係数は平均値で81.6×10³kgf/cm²、最大値100.1×10³kgf/cm²、最小値47.6×10³kgf/cm²の値を示した。この結果から、曲げ強さは、タイワンハンノキ、センダン、アカギ等の樹種とほぼ同程度の強さを示し、曲げヤング係数はガジュマル、スギ、アカギ等の樹種と同程度であった。

曲げ強さと試験片比重との関係を図-3に示す。曲げ強さは、比重と正の相関があり、比重が大きいほど大きな曲げ値を示す事が知られている。カジノキの曲げ強さと試験片比重の関係においても、比較的高い相関が見られた。

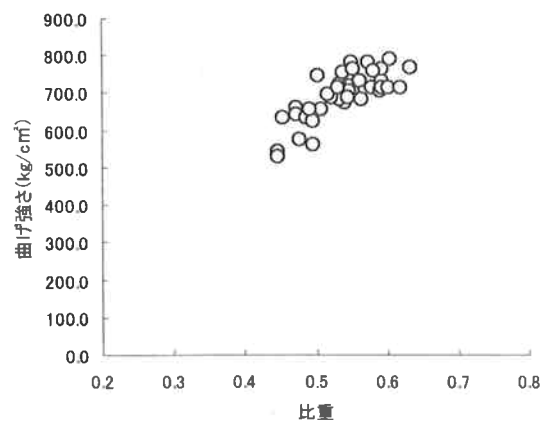


図-3 比重と曲げ強さとの相関

6) 縦圧縮強さ

縦圧縮強さの結果を表-4に示す。縦圧縮強さは、平均値で 381.8kgf/cm²、最大値 445.0kgf/cm²、最小値 322.5kgf/cm²の値を示し、センダン、アカギ、エゴノキ等の樹種と同程度の値を示した。縦圧縮強さと試験片比重との関係を図-4に示す。縦圧縮強さでは、比重と正の相関があることが知られており、カジノキにおいても相関が認められた。

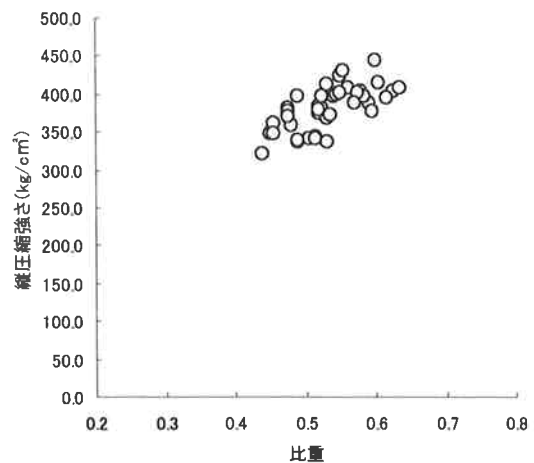


図-4 比重と縦圧縮強さとの相関

7) 無垢材のせん断強さ

無垢材におけるせん断試験の結果を表-4に示す。板目面におけるせん断強さは、平均値で 126.6kgf/cm²、最大値 142.4kgf/cm²、最小値 112.8kgf/cm²の値を示した。柾目面におけるせん断強さは、平均値で 116.6kgf/cm²、最大値 128.0kgf/cm²、最小値 106.4kgf/cm²の値を示し、イタジイ、イヌマキ程度のせん断強さであった。

柾目面におけるせん断強さは、板目面の90%程度の値を示す結果となった。せん断強さの値のバラツキは柾目面で小さい結果を示した。繊維走行方向とせん断強さの関係では、樹種により県産材は、板目面>柾目面、板目面=柾目面、板目面<柾目面の3タイプの存在が認められ⁹⁾、カジノキは板目面>柾目面のタイプであった。

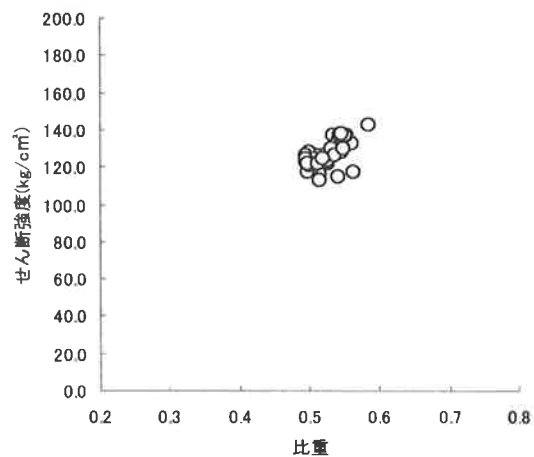


図-5 板目面におけるせん断強度

無垢材における板目せん断強さと比重との関係を図-5に示した。板目木取りでは比較的比重の範囲が狭いが、正の相関傾向が見られた。柾目木取りではせん断強度と比重とは相関は見られなかった。

表-5 カジノキ 接着ブロックせん断試験結果

Shearing strength (kgf/cm ²)				
せん断強さ	平均値	最大値	最小値	標準偏差
	A. V.	MAX.	Min.	S. D.
板目面	94.3	109.6	72.8	8.1
柾目面	68.3	82.4	49.6	8.8

8) 接着せん断強さと木部破壊率

PVAc 接着せん断強さの結果を表-5に示す。板目面における、接着せん断強さは平均値で 94.3kgf/cm²、最大値 109.6kgf/cm²、最小値 72.8kgf/cm²の値を示し、集成材の JAS 規格における樹種区分（タモ、シオジ及びニレ等せん断強さ 84kgf/cm²）の基準値を示した。柀目面においては、接着せん断強さは平均値で 68.3kgf/cm²、最大値 82.4kgf/cm²、最小値 49.6kgf/cm²の値を示し、樹種区分（ツガ、ラジアタパイン及びベイツガ等せん断強さ 66kgf/cm²）の基準値を示した。

無垢材と PVAc を用いた接着せん断強さの比較では、板目接着においては無垢材の約 74% 程度の値を示し、最小値の値の低下が大きかった。柀目接着では、無垢材の約 58% 程度の値を示し、ここでも最小値の値の低下が大きかった。

PVAc を用いて、接着した板目、柀目面のせん断強さは、無垢材と同様に板目面のせん断値が大ききな値を示した。柀目におけるせん断値は、板目接着の約 72% の値を示した。

接着ブロックせん断試験における板目接着せん断強さと比重との関係を図-6に示した。板目接着において正の相関傾向が示されたが、柀目接着においては、相関は見られなかった。

木部破壊率は表-6に示す。板目接着における平均木破率が 4% と極端に低い値を示した。柀目接着における平均木破率はさらに低く 0% であり、木部破壊率の基準値を満たすことができなかった。

9) 接着による浸せきはく離試験

PVAc 接着浸せきはく離試験の結果は表-7に示す。板目面接着における、はく離率は 3 試験片体において 2.0%、4.1%、1.6% の値を示したが、浸せきはく離試験の基準値である 10% 以下を満たした。柀目面接着においては、はく離率は 2 試験片で 2.5%、1.9% 値を示したが、ここでも基準値を満たした。PVAc を用いた、カジノキの浸せきはく離試験では、板目、柀目面接着ともはく離試験の基準値を十分に満たす結果を示した。

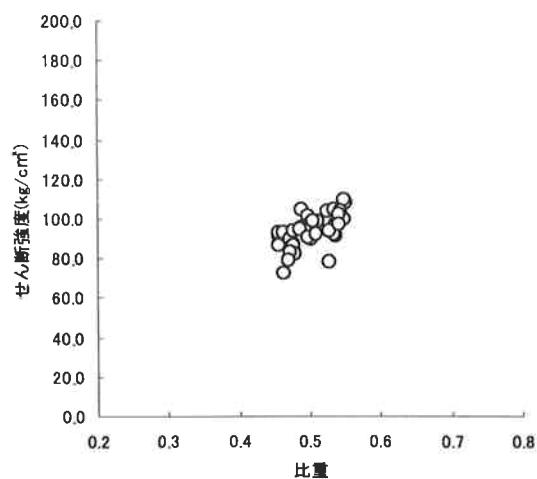


図-6 板目接着せん断強度

表-6 木部破壊率

木取り	平均値%	最大値%	最小値%
板目面	4	30	0
柀目面	0	0	0

表-7 浸せきはく離率(%)

木取り	No-1	No-2	No-3	No-4	No-5	No-6	No-7	No-8	平均値
板目接着面	0	2.0	0	0	4.1	1.6	0	0	1
柀目接着面	0	2.5	0	0	0	0	0	1.9	0.6

10) 小ブロック試験

小ブロック試験の結果を図-7に示す。図から明らかなようにカジノキ心材の重量減少率は12.2%、比較材として用いた沖縄産スギ心材の重量減少率は2.1%、対照材として用いたリュウキュウマツ辺材は、27.8%であった。殺蟻活性の基準となる重量減少率が3%以内であることからすれば、カジノキ心材における殺蟻活性はほとんどないと考えられる。

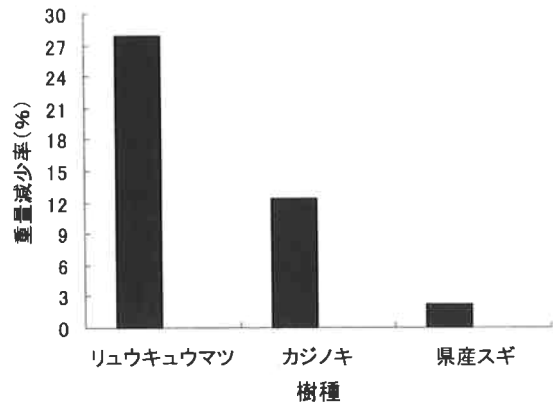


図-7 重量減少率

11) 木粉試験

木粉試験の結果を図-8に示す。カジノキ心材木粉は試験期間14日間の死虫数は3頭で殺蟻活性は、小ブロック試験と同様にほとんど見られなかった。比較材として用いた沖縄産スギ心材木粉においては6日目でイエシロアリが全滅し¹⁰⁾、著しい殺蟻活性を示した。対照材として用いたリュウキュウマツ辺材木粉では、14日で死虫数は0頭で小ブロック試験と同様に殺蟻活性は見られなかった。

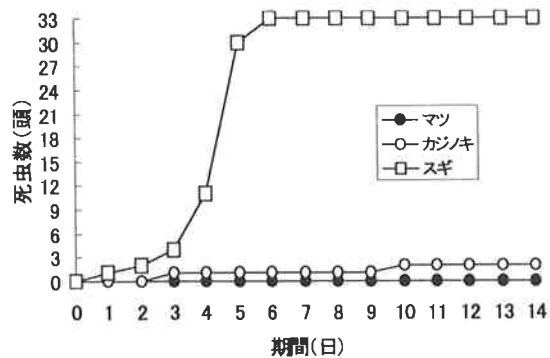


図-8 各樹種の殺蟻活性

12) 耐朽性試験

耐朽性試験の結果を図-9に示した。オオズラタケに対する重量減少率は、カジノキで24.9%の値を示し腐朽菌に対して耐朽性が見られ無かった。比較材として用いた沖縄産スギは1.1%の値を示し耐朽性が高かった。家具材として一般に使用されているリュウキュウマツ材では7.4%、対照材のブナ材では28.8%の値を示し、耐朽性は見られなかった。

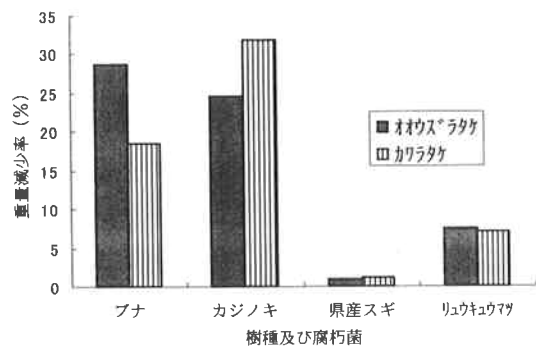


図-9 木材腐朽菌による重量減少率

カララタケに対する重量減少率は、カジノキで31.8%の値を示し耐朽性は見られない。沖縄産スギでは1.3%の値を示し両木材腐朽菌に対して高い耐朽性が見られた。リュウキュウマツ材では7.0%、対照材のブナ材では18.5%の値を示し、両木材腐朽菌に対して耐朽性は低かった。

4. まとめ

今回、カジノキの加工特性・耐蟻・耐朽性試験を行った結果は次のとおりであった。

- 1) 気乾比重の平均値は 0.53 でスギ、イヌマキ、ハンノキ、エゴノキ等の加工性の良い樹種に近い値を示した。
- 2) 含水率 1% に対する平均乾縮率は、接線方向で 0.34%、放射方向で 0.19%、繊維方向で 0.02% の値を示した。県産樹種の中ではリュウキュウマツ、ヤブニッケイとほぼ同程度の乾縮率を示しはやや大きい部類に属する。
- 3) 初期割れのランクは No 2、断面変形はランク No 1、内部割れはランク No 1 を示した。急速乾燥試験の結果からは損傷の発生は比較的少ない樹種であると予想される。
- 4) 初期含水率は比較的高く 105~115% の値を示した。天然乾燥処理において、試験材が含水率 20% に達するまでには 70~80 日前後を要した。
- 5) 材の明度 L^* は白色方向に大きい値を示し、各色度は比較的狭い範囲に集中している。色度の変化は小さく、カジノキの材色は淡黄白色から白色に近い色調を示した。辺材と心材の材色の差はほとんどなかった。
- 6) 曲げ強さは、平均値で 694.7kgf/cm^2 、曲げヤング率は、平均値で $81.6 \times 10^3\text{kgf/cm}^2$ の値を示した。曲げ強さは、タイワンハンノキ、センダン、アカギと同程度の強さを示し、曲げヤング率はガジュマル、スギ等の樹種と同程度であった。
- 7) 縦圧縮強さは、平均値で 381.8kgf/cm^2 の値を示し、センダン、アカギ、エゴノキ等の樹種と同程度の強さを示した。
- 8) 無垢材板目面のせん断強さは、平均値で 126.6kgf/cm^2 、柾目面のせん断強さは、平均値で 116.6kgf/cm^2 の値を示し、イタジイ、イヌマキと同程度のせん断強さであった。繊維走行とせん断強さの関係では、カジノキは板目面>柾目面のタイプであった。また、柾目面におけるせん断強さは、板目面の 90% 程度の値を示した。
- 9) 酢酸ビニル樹脂エマルジョンを用いて接着した板目、柾目面のせん断強さは、板目面の平均値で 94.3kgf/cm^2 、柾目面の平均値で 68.3kgf/cm^2 の値を示した。柾目におけるせん断値は、板目接着の約 72% の値を示した。木部破壊率は板目接着における平均値で 4%、柾目接着で 0% の値を示し、木部破壊率は極端に低い値を示した。
- 10) 酢酸ビニル樹脂エマルジョンを用いた浸せきはく離試験の結果、はく離率は板目面接着で平均値 1%、柾目面接着で 0.6% を示し、両接着面で基準値を十分に満たした。
- 11) イエシロアリを用いた小ブロック試験の結果、カジノキ心材の重量減少率は 12.2% の値を示し、カジノキ心材の殺蟻活性はほとんど無いことが明らかになった。
- 12) イエシロアリを用いた木粉試験の結果、カジノキ心材木粉は試験期間 14 日間の死虫数は 3 頭で殺蟻活性は、小ブロックと同様にほとんど無いことが明らかになった。
- 13) オオウズラタケ、カワラタケを用いた耐朽性試験の結果、カジノキ心材はオオウズラタケに対して 24.9% の重量減少率を示し耐朽性は無かった。カワラタケに対しても 31.8% の重量減少率を示し耐朽性は見られなかった。

これらの結果より、カジノキは比重 (0.53) のわりには乾縮率がやや大きく、各種強度はタイワンハンノキ、エゴノキ、センダンと同程度の強度である。また、イエシロアリに対する耐蟻性がほとんど無く、木材腐朽菌に対する耐朽性はオオウズラタケとカワラタケの両木材腐朽

菌では見られなかった。これらの特性からカジノキの利用を考えると、建築用材等で使用する場合は、造作部材としての使用が適切ではないかと思われる。また、カジノキは材面の色調が淡黄白色から白色に近いことから塗装により材の色調が比較的自由に操作できることや、年輪幅が広く道管の形状が環孔状に分布していることから、センダン材に近い木目を示している。このため、工芸材、家具用材や幅はぎ等の集成を行うことにより箱物材、小木工材として利用することが考えられる。

引用文献

- 1) 天野鉄夫：琉球列島有用樹木誌、P18、1982
- 2) 首里城研究会：首里城研究 No. 2、P28、1996
- 3) (社)日本木材保存協会：木材保存学入門、P305、1992
- 4) 屋我嗣良：沖縄産材の抗蟻性について（第8報）第26回日本木材学会大会研究発表要旨、P241、1976
- 5) 沖縄開発庁沖縄総合事務局：森林利用計画調査、P9、1979
- 6) 沖縄県農林水産部：県産材利用開発調査報告書、P66～67、1981
- 7) 仲宗根平男ほか：沖縄産有用木材の性質と利用、P8～9、1985
- 8) 佐藤庄一：第40回日本木材学会、P90、1990
- 9) 仲宗根平男ほか：沖縄産有用木材の性質と利用、P12、1985
- 10) 嘉手苺幸男：沖縄産材の耐久性に関する基礎的研究、未報告

資 料

ニオウシメジ (*Macrocybe gigantea*) の露地栽培

—菌床の熟成期間が発生特性と菌床重量にあたる影響について—

比嘉 享

1. はじめに

ニオウシメジ (*Macrocybe gigantea*) の菌床は、通常植菌後半年程度の培養を経て栽培に供されるが、植菌後数ヶ月で栽培に使われる菌床がある一方、1年以上熟成させた菌床の利用もみられるなど、一定していないのが現状である。

ここ数年、ニオウシメジの普及現場から発生量と発生の周期が地域や生産者によって異なるとの報告があるが、原因の一つに、既述した菌床の熟成度の違いがあると思われることから、今回は植菌後5ヶ月の、比較的短い熟成期間をおいた菌床（以下短期熟成菌床と称する）と、16ヶ月熟成させた菌床（以下長期熟成菌床と称する）の、発生特性を比較して、菌床の熟成期間が発生特性にあたる影響について、その傾向を調べるとともに子実体の収量を規定する因子の一つである菌床重量が熟成に伴いどう推移するかを明らかにして熟成に関わる基礎資料を得ることとした。

なお、今回は便宜上植菌直後から植込みまでの期間を熟成期間とした。

2. 材料と方法

1) 発生特性試験

(1) 試験条件

試験期間は平成13年6月16日～10月15日とした。ニオウシメジの菌株はTG-12号株で、菌床は石川きのこ生産組合製を使用した。長期熟成菌床は平成12年3月に植菌した菌床を用いた。一方の短期熟成菌床は平成13年2月に植菌した菌床である。それぞれ容器を4つ用意し、個々の容器に10kgの菌床を植え込んだ。容器の規格は50cm（縦）×40cm（横）×23cm（深）であった。覆土として赤玉土を用い覆土厚は3cmとした。覆土直後に6リットルの給水後は乾燥と雨水の侵入を防ぐためビニルをかぶせた。遮光は90%の遮光ネットを用い、敷ワラはしなかった。

(2) 株の採取と子実体の計量計測

発生後8分開きの子実体（写真-3参照）を株ごと採取し、土を洗い落とした後、子実体を1本1本分けた。計測は子実体ごとに、生重量、全長、傘の直径について行った。なお、3g未満の子実体は、まとめて総重量のみを計量した。

(3) 植込みから初回発生までの所要日数

ニオウシメジ栽培では通常1～2回の発生ピークがみられるが、初回の発生量の割合が大きいことから、今回は発生の特性を計る指標として、植込日から初回発生日までの所要日数を用いた。

2) 熟成に伴う菌床の計量

菌床減少量の測定には61個の菌床を用い、植菌後8ヶ月目、10ヶ月目、14ヶ月目、16ヶ月目、

17ヶ月目の菌床重量を測定した。保管は風通しのよい屋内（発生舎）で、平成12年7月～平成13年7月まで行った。

3. 結果と考察

1) 試験区別発生量および初回発生までの所要日数

発生量は10kgの植菌重量に対し短期熟成菌床区は平均1,157.3±302.8gであった。長期熟成菌床は平均1,622.8±289.8gであったが両区間に有意差は認められなかった。

初回発生までの所要日数は短期熟成菌床、長期熟成菌床それぞれ88.3日、40.0日で有意な差が認められた（t検定1%有意）。

長期熟成菌床区、短期熟成菌床区それぞれの収穫量を合計して子実体の発生パターンを示したのが図-1である。長期熟成菌床区が試験期間前半に発生を集中させているのに対し、短期熟成菌床区は、試験期間の後半に発生を集中させているのがわかる。

2) 発生回数

発生回数は短期熟成菌床が1～2回であるのに対し、長期熟成菌床は2～3回であった。初回発生までの所要日数が短いと、発生回数が増える傾向があった。

3) 試験期間の気象条件（気温、湿度）

試験期間の気象条件を表-1に示した。数値は名護測候所の測候値である。

表-1 試験期間の気象条件（名護測候所）

	6月	7月	8月	9月	10月	11月
平均気温	29.5	29.6	29.2	27.6	25.1	23.2
平均湿度	80.0	77.0	76.0	83.0	71.0	64.0

4) 熟成期間と菌床の重量減少

植菌後8ヶ月目、10ヶ月目、14ヶ月目、16ヶ月目、17ヶ月目の平均重量はそれぞれ993g、974g、933g、924g、910gで、時間の経過にともない減少した。熟成期間9ヶ月間における菌床重量の平均減少率は8.4%であった。

表-2 当年・過年菌床別発生量（発生までの所用日数と発生量）単位：日、g

区別/所要日数	39	43	53	84	88	93	113	計
短期熟成1				962	570			1,532
短期熟成2					178		951	1,129
短期熟成3						790		790
短期熟成4					1,180			1,180
長期熟成1	1,040		164		603			1,807
長期熟成2	1,202		254		476			1,932
長期熟成3	1,345			47				1,392
長期熟成4		1,250			110			1,360

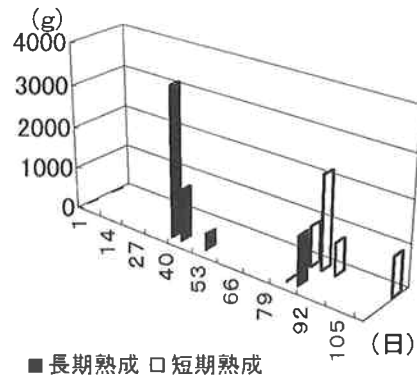


図-1 熟成期間別の発生パターン

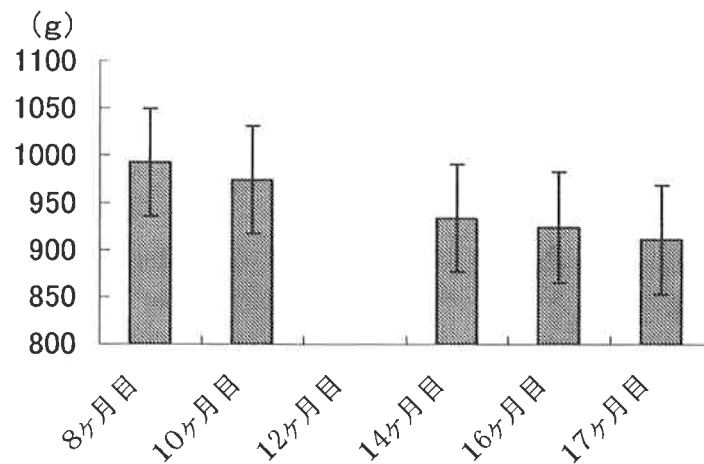


図-2 熟成期間（保管期間）と菌床の重量減少 単位：g

4. おわりに

今回は収穫量において、長期熟成菌床が、短期熟成菌床に比べ良好な傾向を示す結果となった。表-2や図-1にみるように、長期熟成菌床は、子実体の初発生までの所要日数が約40日と比較的短いことや試験期間を通して発生回数が比較的多いことなどが特徴としてあげられる。発生回数が収穫増を規定する重要な因子である¹⁾ことを考えると、熟成期間の長短が収穫量に大きく影響することが示唆された。

図-1の発生パターンをみると、長期熟成菌床が植え込み後40日目と80日目に1回目と2回目のピークを迎えているのに対し、短期熟成菌床の発生ピークは、植え込みから約80日目の1回目だけで、発生が終った。2回目の発生がなかったのは、冬場に向かい、子実体発生のための気象条件が揃わなかったことが原因の一つでないかと思われた。

菌床の重量は熟成期間の長さに応じて減少することが認められた（9ヶ月間で約8%の重量減

量は相応に減少し、それに伴う収穫量の減少が予測されるため、菌床の重量減少を考慮した、菌床の適正な熟成期間の解明が今後必要である。

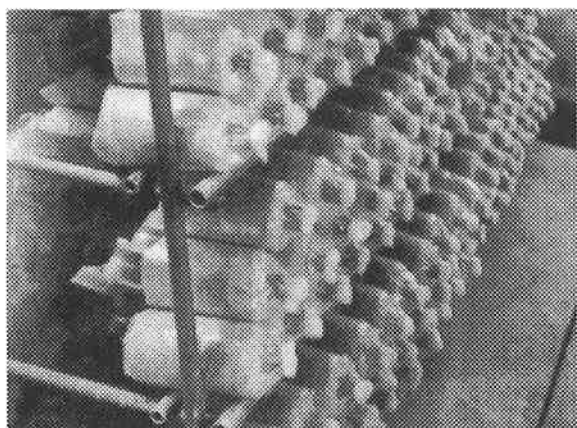


写真-1 菌床の熟成状況



写真-2 試験状況



写真-3 発生状況（収穫期適期）

引用文献

- 1) 比嘉 享：ニオウシメジの露地栽培 —粉炭施用効果と子実体の収量と大きさにかかわる所見— 沖縄県林試研報No.43、17、2000