

Original Paper

Characteristics of Charcoal made from used Paper and Utilization as a Cultivation Material for Mushroom growing

Takao IMANISHI *¹, Kazunori YAMAZAKI *², Toshiki EGUCHI *², and Mitsuhiro SAKAWA *²

(Received December 17, 2001)

古紙から造った炭の物性ときのご栽培への利用

今西隆男*¹, 山崎和紀*², 江口敏記*², 坂輪光弘*²

This paper presents the changes of behavior and the characteristics of used paper carbonized at various temperatures up to 1,000 °C, and utilization of charcoal made from used paper, as a cultivation material for mushroom growing. The weight of the used paper decreased when heated, mainly in the temperature range from 250 °C to 400 °C. The used paper shrunk around the similar temperature. However, the temperature that shrinkage started was 20 °C higher than the temperature that weight decrease started. The charcoal made from used paper had two types of pores, pores between fibers and pores in fibers. Pores between fibers were created at temperatures of less than 400 °C, which was evident after the remarkable weight decreases had finished. Bulk density influenced the formation of the pore between fibers. Pore volume and pore diameter decreased with increased bulk density. *Pleurotus ostreatus* was able to be cultivated on charcoal made from used paper. The occurrence of fruit bodies and the mycelial growth in the charcoal was greater in charcoal that had a low bulk density and high moisture content. Therefore, charcoal made from used paper is a good medium for cultivating various kinds of fungi.

Key Words

Used paper, Recycling, Charcoal, *Pleurotus ostreatus*, Fungi

1. 緒言

我が国の平成12年の紙生産量は1,904万トンにのぼり、大量の紙が生産・消費されている。一方、古紙は約58%が回収され、再び製紙原料等としてリサイクルされているものの¹⁾、低質古紙などを中心に焼却・廃棄されているものも多い。環境への負荷や資源の有効利用を考えた場合、古紙の新たな用途開発を検討することが必要である。筆者らは古紙の利用方法の一つとして、炭化して利用することを検討している。古紙の炭化による利用は活性炭の試作や水銀の吸着などが試みられているが²⁾³⁾、植物などへの生物的な利用例はない。筆者らは、古紙から造った炭は、様々な形状や大きさに成形でき、さらに大きな細孔を有することから植物栽培床として利用することや担子菌類の菌糸を培養する試みを行ってきた⁴⁾⁵⁾。担子菌類にはシイタケ、マツタケなどの食用きのこ類や樹木と共生関係にある菌根菌、ダイオキシン等の有害物質を分解す

ることが出来る白色腐朽菌⁶⁾の存在などが知られており、その利用は食生活だけでなく森林の保全や環境浄化の面からも重要なものとなっている。古紙の加熱に伴う現象について考察するとともに、熱分解により細孔が形成されるメカニズムとその特性について考察することによって担子菌類の培養基として利用するための古紙炭製造の条件について検討し、さらに古紙炭の用途の一つとして古紙炭内に菌糸を培養してヒラタケの子実体の発生を試みたので報告する。

2. 実験

2.1 古紙の加熱変化に伴う挙動

古紙(本実験では古新聞紙を使うこととする)の加熱変化に伴う挙動を、熱分析システムWS002(株式会社マックサイエンス社製)で測定した。示差熱天秤(TG-DTA)を用いて、Ptパンに入れた乾燥試料約5mgを試料ホルダーにセットし、

* 1 Kochi prefectural Forest Technology Center, 80 Ohira, Tosayamada-cho, Kami-gun, Kochi 782-0078, Japan

* 2 Kochi University of Technology, 185 Miyakouchi, Tosayamada-cho, Kami-gun, Kochi 782-8502, Japan

* 1 高知県立森林技術センター 木材資源部
〒782-0078 高知県香美郡土佐山田町大平80番地

* 2 高知工科大学
〒782-8502 高知県香美郡土佐山田町宮ノ口185

200ml/minの流速で窒素ガスを流入させて系内を不活性雰囲気にした後、昇温速度 10 °C/min, または 5 °C/min, 20 °C/min で室温から 600 °Cまで昇温させ加熱に伴う重量減少量を測定した。測定時の基準物質にはアルミナを使用した。なお、比較のためスギとセルロースについても同様の方法で測定した。また、熱機械分析装置 (TMA) を用いて、不活性雰囲気下、昇温速度 10 °C/min で、室温から 600 °Cまでの加熱に伴う収縮量を測定した。

2.2 古紙で造った炭の細孔

家庭用ミキサーに古紙と水を入れて粉碎した後、円筒形のホルダーに充填し、油圧式加圧機を用いて一定の加重を加え、長さ約 30mm, 直径約 20mm の試料を作製した。そして、105 °Cで 48 時間乾燥させた後、シリコニット電気炉 (シリコニット高熱工業株式会社製, 炉内径 40mm, 有効炭化部長 150mm) を用いて不活性雰囲気下、10 °C/min で昇温させ、目的温度で 60 分間保持して炭化物を得た。細孔径 1nm 以上の細孔について、260 °Cから 400 °Cまでは 20 °C毎、400 °C以上は 200 °C毎に 800 °Cまでの温度で炭化したものを、水銀ポロシメーター PASCAL140・440 (Thermo Quest 社製) を用いて、水銀圧入法により細孔容積および細孔分布を測定した。炭化後、デシケーター内で吸引・真空保存しておいた古紙炭の薄片をディラトメーターに入れ、水銀の圧入により最大 200kPa で、さらにオイルで圧入することにより最大 400MPa での水銀の浸入量から求めた。

さらに、細孔径 0.1 μ m 以下の微細な細孔について、400 °Cから 1,000 °Cまで 100 °C毎の温度で炭化したものを、比表面積測定装置 NOVA1200 (ユアサアイオニクス社製) を用いて内部比表面積を測定した。60 メッシュ以下に粉碎した試料をセルに入れて 300 °Cで 1 時間真空脱気した後、液体窒素温度における窒素ガスの吸着等温線を測定し、BET3 点法により求めた。

2.3 古紙炭でのヒラタケ発生試験

古紙を乾式粉碎機で綿状から数ミリ程度に粉碎し、水を加えて混ぜ合わせ立方体の型枠 (8 cm \times 8 cm \times 8 cm) に入れて成型・乾燥させた後、ルツボ型電気炉 (増田理化学工業株式会社製, 炉内径 400 mm, 高さ 500 mm) で炭化した。炭化は不活性雰囲気下、10 °C/min で昇温させ、600 °Cで 60 分間保持した。菌糸の生長に必要な栄養は、米糠を水 1 リットルに対して 200g の割合で加え、1 時間煮沸した後、ガーゼで濾過した抽出液を使用した。次に古紙炭をこの抽出液に一晩浸して水と栄養を吸収させた。それをフィルター付きの培養袋に入れ 121 °Cで 60 分間殺菌し、冷却後、予め 2% Malt Extract 液体培地 (Malt Extract 20g, Distilled Water 1,000 ml) で培養しておいたヒラタケ菌糸をホモジナイザーで粉碎して培地表面中央部に 10 ml 接種した。その後、温度 20 °C, 相対湿度 70 % の条件で培養した。そして、培養 32 日目に発生操作として温度 14 °C, 相対湿度 95 % の環境に移し子実体の発生を試みた。また、スギオガズと米糠を容積比 3 : 1 の割合で混

合し含水率を 65 % に調整した通常の栽培培地を対照とした。

2.4 古紙炭での菌糸伸長とグルコサミンの定量

子実体の発生の為には大量の菌糸体が必要なので、古紙炭内部への菌糸の伸長量に対する炭化温度と添加物の影響について検討した。炭化温度は 400 °C, 600 °C, 800 °C とし、添加物には容易に入手できる廃棄物として粉穀とビール粕を用いた。ブロック状の古紙炭を菌糸培養用の YMG 液体培地 (Yeast Extract 4g, Malt Extract 20g, Glucose 4g, Distilled Water 1,000 ml) に 1 晩浸して吸水させたあと、フィルター付きの培養袋に入れて 121 °Cで 60 分間殺菌した。冷却後、予め 2% Malt Extract 液体培地で培養しておいたヒラタケ菌糸をホモジナイザーで粉碎し培地表面中央部に 10 ml 接種した。その後、温度 20 °C, 相対湿度 70 % の条件で培養した。そして、培養 30 日目に培地表面の菌糸を取り除いて、培地内の一部を取り出し、80 °Cで乾燥させ菌糸体量測定用の試料とした。また、スギオガズと米糠を容積比 3 : 1 の割合で混合し含水率を 65 % に調整した通常の栽培培地を対照とした。きのこ類の菌糸体の細胞壁構成成分であるキチンは N-アセチルグルコサミンが β -1,4-結合で直鎖状に連なった化合物であることから⁷⁾、炭内部に生長した菌体量を比較するため、Arima ら⁸⁾ と Tokimoto ら⁹⁾ の方法に準じてグルコサミンの量を測定した。細かく粉碎した乾燥粉末試料 0.2g を硫酸で加水分解した後、イオン交換樹脂 (Amberlite - IR120B) を充填したガラスカラムを使ってグルコサミンを溶出した。溶出したグルコサミンを Elson-Morgan 反応により発色させ、分光光度計 U - 2010 (株式会社日立製作所製) で 525 nm の吸光度を測定した。

3. 結果と考察

3.1 古紙の熱変化に伴う挙動

古紙とスギ、セルロースの昇温速度 10 °C/min での加熱に伴う重量減少率の推移とその微分曲線を Figs. 1, 2 に示す。古紙の重量減少は 200 °C付近から緩やかに始まって 280 °C付近で急激に著しくなり 380 °C付近から再び緩やかになった。そして 600 °Cにおける重量は炭化前の約 15 % 程度であった。この重量減少から古紙は概ね 250 °Cから 400 °C付近の温度域で熱分解していることが判る。また、その微分曲線には 340 °C付近に明瞭なピークがあり、この付近での減少が最も著しいといえる。スギは古紙とほぼ同じ温度域から重量減少が始まったが、その減少曲線は古紙よりも緩く、微分曲線のピークは約 360 °Cで古紙よりも 20 °C程度高かった。また、セルロースは 260 °C付近から重量減少が始まって 300 °Cから急激に減少し、微分曲線のピークはスギと同じ 360 °C付近であった。紙は主に木材を原料として製造され、その製造方法によって機械パルプと化学パルプに大別される。機械パルプは物理的な処理のため木材の成分を殆ど含んでいるが、化学パルプは薬品処理によりリグニンを溶出除去している。新聞紙の原料には機械パルプや古紙が使用されている¹⁰⁾。紙の原料となる木材の一般的な組成はセルロース 40 ~ 50 %, ヘミセルロース 15 ~ 35 %, リグニン 18 ~ 35 % で¹¹⁾、加熱に伴って熱分

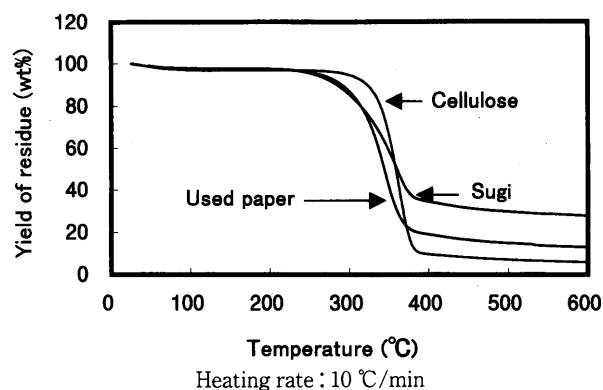


Fig. 1 Weight change of used paper, cellulose and sugi during carbonization

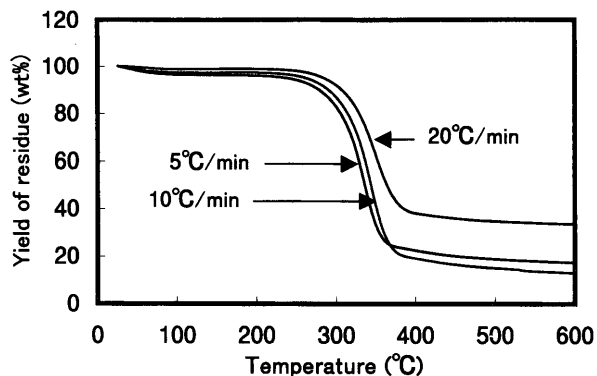


Fig. 3 Weight change of used paper by heating rate

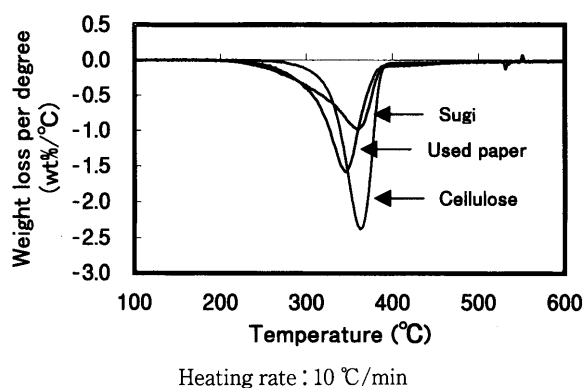


Fig. 2 Differential curve of used paper, cellulose and sugi during carbonization

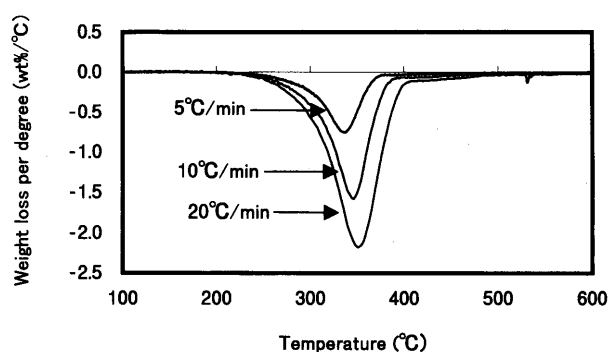


Fig. 4 Differential curve of used paper by heating rate

解する温度範囲はヘミセルロース 180～300℃, セルロース 240～400℃, リグニン 280～550℃であるといわれている¹²⁾。加熱に伴う重量減少の開始温度から, 古紙の成分はスギと類似しており、最初にヘミセルロースが、続いてセルロースが分解していると考えられる。昇温速度を変化させた場合の重量減少率とその微分曲線を Figs. 3, 4 に示す。昇温速度が遅いほど、重量減少の開始温度と微分曲線のピークの位置が低温側にシフトするとともに、微分曲線の値は小さくなっている。これは昇温速度が遅いと同一温度域での保持時間がより長くなるため、熱分解が進行し、結果として重量減少の起こる温度域が低温側にシフトすると考えられる。

古紙の加熱に伴う収縮率, および重量変化率の推移を Fig. 5 に示す。古紙の収縮は 260℃付近から緩やかに始まって 310℃付近で急激に著しくなり 400℃付近からは再び緩やかになった。そして 600℃における収縮率は炭化前の約 70%程度であった。この変化を重量減少と比較すると収縮は約 20℃高温から始まり、収縮率は小さかった。

3.2 古紙で造った炭の細孔

重量減少の著しい温度域である 260℃から 400℃までは 20℃毎, 400℃以上は 200℃毎の温度で炭化した炭の水銀ポロシメーターで測定した細孔容積と平均細孔径を Figs. 6, 7 に示す。なお、使用した古紙炭の嵩密度は約 0.2g/cm³であった。

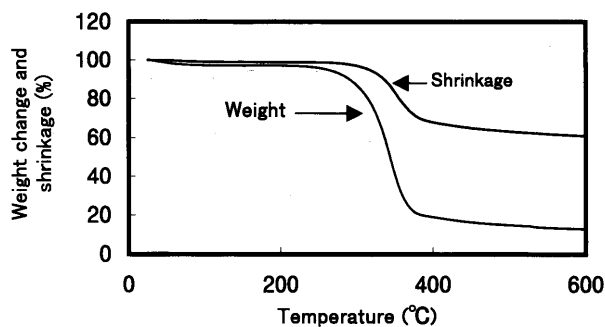
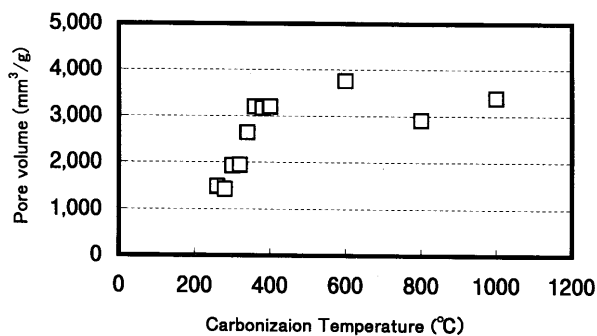


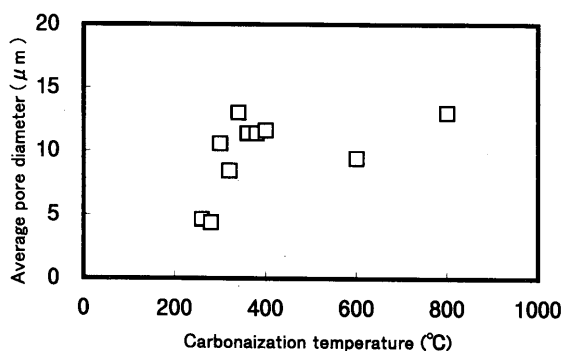
Fig. 5 Weight change and shrinkage of used paper

細孔容積, 細孔径とも 260℃から 400℃近くまでは著しく増加したが、それ以降の変化は小さかった。この細孔容積の変化の様子は 250℃から 400℃付近で急激に熱分解して重量減少する挙動と類似している。古紙を粉碎・成型することによって、絡み合った繊維とその繊維間に空隙を有する固形物ができる。これを不活性雰囲気中で加熱していくと、その構造は維持されながら重量減少と収縮が進行していく。古紙炭の構造を SEM 写真で観察すると Fig. 8 のとおりで、炭化後も繊維の絡み合った構造を有していることが判る。この構造は規則正しい構造を有する木を原料とした木炭と比較すると異なった趣を呈しており、この不規則で連続した様々な大きさの細孔を有することが古紙炭の大きな特徴であるといえる。400℃



Pore diameter: 1nm ~, Bulk density: 0.2g/cm³
Measured by mercury porosimeter

Fig. 6 Pore volume carbonized at various temperatures for 60 minutes



Pore diameter: 1nm ~, Bulk density: 0.2g/cm³
Measured by mercury porosimeter

Fig. 7 Average pore diameter carbonized at various temperatures for 60 minutes

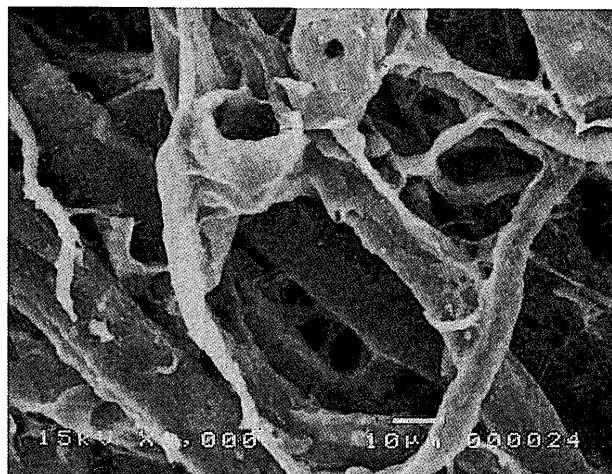
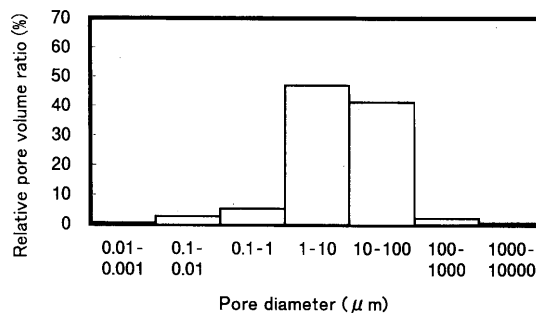


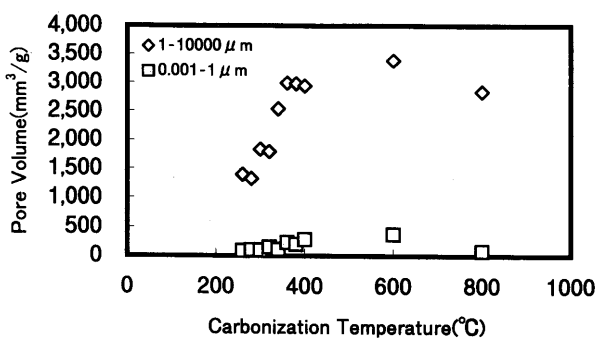
Fig.8 SEM photograph of charcoal from used paper carbonized at 800 °C for 60 minutes



Bulk density: 0.2g/cm³

Fig. 9 Pore diameter distribution carbonized at 400 °C for 60 minutes

で炭化した高密度 0.2g/cm³ の古紙炭の細孔分布を Fig. 9 に示す。1 μm 未満は 9%, 1 ~ 10 μm は 47%, 10 ~ 1,000 μm は 43%, 1,000 ~ 10,000 μm は 1% となっており, 90% 以上が 1 μm よりも大きな細孔である。SEM 写真の観察から古紙炭の有する細孔は繊維間の空隙に由来するものと繊維自身に揮発成分の発生等によって形成される細孔の 2 種類に大別することが出来ると思定される。繊維の大きさからこの両者の境を 1 μm 程度と仮定し, 炭化温度による 2 種類の細孔の変化を Fig. 10 に示す。繊維自身に形成される細孔容積は 100 ~ 300mm³/g で余り変化しないが, 繊維間の細孔容積は 280 °C から 360 °C にかけて 1,300mm³/g から 3,000mm³/g まで急増している。加熱に伴って古紙は収縮し, 全体の容積は減少するが, 繊維間の細孔容積は増加している。このことは, 加熱に伴う繊維自身の収縮量が全体の収縮量よりも大きいため, 相対的に繊維間の容積が増加するものと考えられる。400 °C から 1,000 °C まで BET 法で測定した 0.1 μm 以下の微細な細孔の内部比表面積を Fig. 11 に示す。500 °C までは小さな値を示したが, 600 °C で急増し 900 °C まで漸減し, 1,000 °C で急減した。一般に炭素内部には 25nm 以上のマクロ孔から 0.4nm 以下のサブミクロ孔まで多くの細孔が存在する¹³⁾。古紙炭に存在する微細な細孔は 500 °C から 600 °C の変化の過程で形成されていると考えられる。これらのことから, 古紙炭に

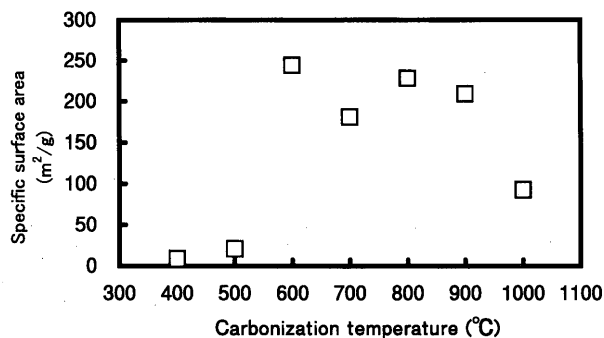


1-10,000 μm : Pore volume between fibers
0.01-1 μm : Pore volume in fibers
Bulk density: 0.2g/cm³

Fig. 10 Pore volume of two types carbonized at various temperatures for 60 minutes

は熱分解に伴う重量減少と収縮が著しく発生する温度域において繊維間に形成される 1 μm 程度以上の大きな細孔と 500 °C 以上で形成される繊維内部の微細な細孔を有するといえる。

成型圧を変化させて 800 °C で炭化した古紙炭の高密度と細孔容積の関係を Fig. 12 に示す。高密度の上昇に伴い細孔容積は減少した。細孔容積を繊維間に形成された細孔容積と繊維自身に形成された細孔容積に分けると, 繊維自身に形成され



Pore diameter: ~ 0.1 μm, Measured by BET method

Fig.11 Specific surface area carbonized at various temperatures for 60 minutes

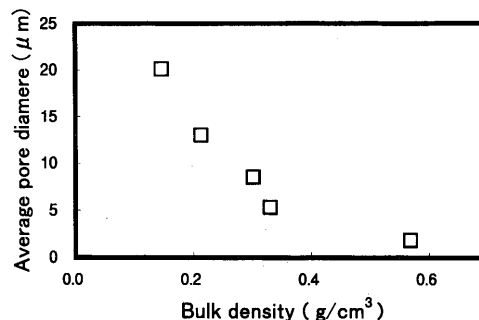


Fig.13 Relationship between bulk density and average pore diameter carbonized at 800 °C for 60 minutes

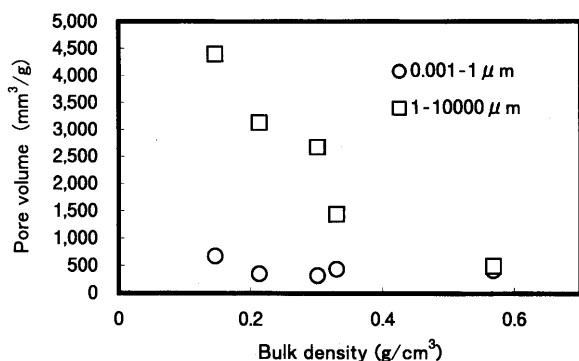


Fig.12 Relationship between bulk density and pore volume carbonized at 800 °C for 60 minutes

る細孔容積に対する嵩密度の影響は小さいが、繊維間に形成される細孔容積に対する嵩密度の影響は大きく、嵩密度が小さいほど細孔容積は多かった。また、嵩密度と平均細孔径の関係は Fig. 13 のとおりで嵩密度の増加に伴い平均細孔径は小さくなった。

古紙炭の有効利用の一つとして担子菌類の培養を考えた場合、菌糸の大きさ以上の細孔を考慮する必要がある。繊維自身に形成された細孔は菌糸の大きさに比べて微細であるので、菌糸の生長には繊維間に形成される比較的大きな細孔の量が重要である。そこで、細孔容積から判断すると、炭化温度は熱分解のほぼ終了する 400 °C 程度以上であれば良く、また嵩密度を小さくすることが重要であるといえる。

3.3 古紙炭でのヒラタケ発生試験

古紙炭でのヒラタケ発生試験に供した培地の乾燥重量、乾

燥容積、吸水後重量、含水率（湿量基準）、発生操作から発生までに要した日数、発生した子実体の重量、培地重量に対する子実体重量の割合を Table 1 に示す。使用した炭は平均乾燥重量 21.3g、平均嵩密度 0.08g/cm³ で、吸水後は 232g となり平均含水率は 91 % であった。発生操作後 16 日目から子実体の形成が始まった。採取までに要した平均日数は 24 日間で、スギオガクズ培地の 20 日間と比較すると若干、長期間を要した。子実体の平均生重量は 6.2g、培養終了時の培地重量に対する発生重量の割合は 2.7 % で、スギオガクズの 12.9 % と比べると 5 分の 1 程度であった。このことはスギオガクズ培地は栽培に適した栄養剤を十分に含んでいるのに対して、炭には十分に栄養を供給出来なかったことによる培地内の栄養量の違いが大きいと考える。発生重量と培地の嵩密度、含水率との関係は Figs. 14, 15 のとおりで嵩密度が小さく、含水率が高い方が多い傾向にあった。発生量を増加させるためには嵩密度を小さくするとともに、栄養剤の種類や供給方法を検討することが必要であるものの、古紙炭でこの発生が可能ながことが確認できた。

3.4 培地内部のグルコサミン量

炭化温度と添加物の種類による培養 30 日目の乾燥培地重量 1g 当たりのグルコサミン量を Table 2 に示す。同じ原材料での炭化温度による違いを比較すると 400 °C と比べて 600 °C、800 °C は 30 ~ 50 % 程度多かった。また添加物を加えることによって最大で 22 % の増加がみられた。400 °C の古紙炭は吸水性が悪く、他と比べると 10 % 以上含水率が低いものもあり、

Table 1 Conditions of charcoal and result of cultivation

Substrate	Charcoal medium					Days after working of occurrence	Fresh weight of fruit bodies	Rate ^{a)}	
	Dry weight	Dry volume	Bulk density	Wet weight	Moisture content				
	g	cm³	g/cm³	g	%	day	g	%	
charcoal	average	21.3	270.4	0.08	232	90.8	24	6.2	2.7
	max	26.4	309.2	0.09	277	92.9	33	13.3	
	min	17.7	221.3	0.06	189	88.2	16	2.0	
sawdust	average	—	—	—	420	70.0	20	53.98	12.9

a) Rate: Ratio of fresh weight of fruit bodies to wet weight of solid charcoal medium

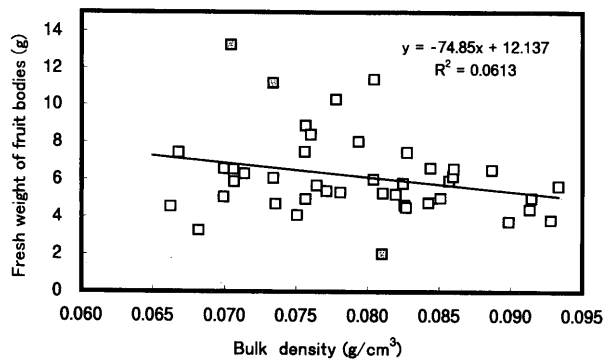


Fig.14 Relationship between bulk density and fresh weight of fruit bodies of *Pleurotus ostreatus* cultivated on charcoal medium

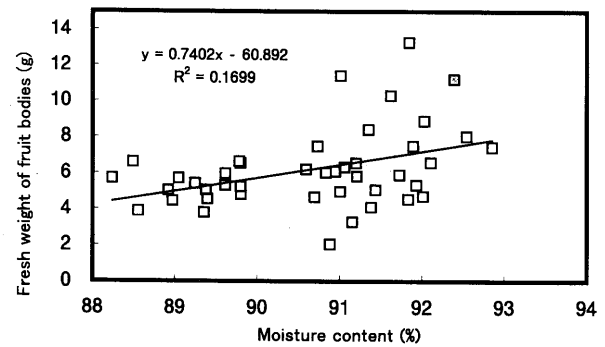


Fig.15 Relationship between moisture content and fresh weight of fruit bodies of *Pleurotus ostreatus* cultivated on charcoal medium

Table 2 Glucosamine content of culture medium by various carbonization temperatures and raw materials, incubated for 30days

Carbonization temperature	Raw material	Bulk density	Moisture content	Glucosamine content	Index ^{a)}
		g/cm ³	%	mg/g·dry wt.	
400 °C	Used paper 100%	0.09	68.1	1.74	24
400 °C	Husk of paddy 20%	0.11	62.9	1.74	24
400 °C	Beer dreg 50%	0.10	80.1	2.13	30
600 °C	Used paper 100%	0.08	83.3	2.65	37
600 °C	Husk of paddy 20%	0.07	80.8	2.90	40
600 °C	Husk of paddy 50%	0.08	88.7	2.65	37
600 °C	Beer dreg 50%	0.09	86.4	2.74	38
800 °C	Used paper 100%	0.10	82.6	2.60	36
800 °C	Husk of paddy 20%	0.08	87.2	2.86	40
800 °C	Beer dreg 50%	0.09	86.8	2.96	41
—	Sawdust of Sugi		65.0	7.19	100

a) Index: : Ratio to sawdust of sugi

水分量の影響も無視できないと考えられる。グルコサミン量と含水率、嵩密度の関係は Figs. 16, 17 に示すように含水率が高く、嵩密度が小さい方が多い傾向にあり、子実体の発生量の結果と同じ傾向であった。スギオガクズ培地と比較すると古紙炭のグルコサミン量はスギオガクズの 24 ~ 41 % で子実体の発生割合よりも高い数値であった。また、嵩密度と含水率の関係は Fig. 18 に示すように嵩密度が小さいほど含水率は高い傾向にあった。このことは嵩密度が小さいと古紙炭内の繊維間に形成される細孔容積が大きく、多くの水分や栄養を蓄えることができ、その結果として菌体量も多くなって、子実体の発生量も増加するといえる。

4. 結論

古紙の炭化過程における拳動と細孔の形成およびその特性について検討するとともに、古紙炭の有する豊富な細孔容積を生かして担子菌類の培養基材として利用することを目的とし、その一方策としてヒラタケの発生を試みた結果、次のような知見を得た。

- 1) 古紙は加熱によって概ね 250 °C ~ 400 °C の間で重量減少と収縮が起きる。
- 2) 収縮は重量減少よりも 20 °C 程度高い温度で始まる。
- 3) 古紙炭の細孔は繊維間に形成されるものと、繊維自身に形成されるものに分けることができる。

4) 繊維間の構造は不規則で連続した様々な大きさの細孔を有する。

5) 繊維間に形成される細孔は急激な重量減少の終了する 400 °C までにほぼ形成される。

6) 嵩密度の大きさに影響される細孔は繊維間にできる細孔で、嵩密度が大きくなると細孔容積、細孔径とも小さくなる。

7) 古紙炭でヒラタケの発生が可能であり、その発生量と固形炭内部に蓄積される菌糸体量は嵩密度が小さく、含水率が大きい方が多い傾向にあった。

古紙の加熱変化に伴う細孔の生成過程を解明し、細孔容積の豊富な古紙炭を造ることによって、子実体の発生が可能な量の菌糸を古紙炭内に培養することができた。このことは、他の担子菌類の培地基材としても利用できることを示唆しており、今後はきのこ類の栽培床としての検討とともに、菌根菌や有害物質分解菌などの有用な担子菌類を培養することによる活用についても検討していきたいと考える。

文献：References

- 1) 通商産業大臣官房調査統計部, 平成 12 年紙・パルプ統計年表(社団法人通産統計協会), p.18(2001)
- 2) 眞許俊弘, 千葉芳史, 岡山隆之, 島田勝広, 飯田孝彦, 瓦田研介, 第 50 回日本木材学会大会研究発表要旨集,

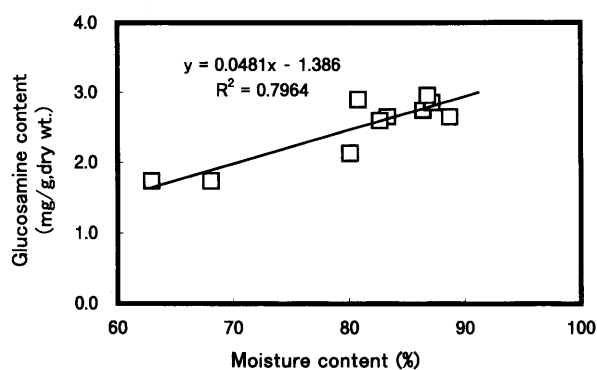


Fig.16 Relationship between moisture content and glucosamine content, incubated 30 days

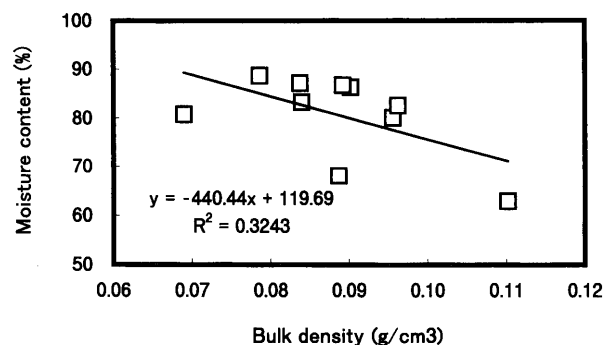


Fig.18 Relationship between bulk density and moisture content, incubated 30 days

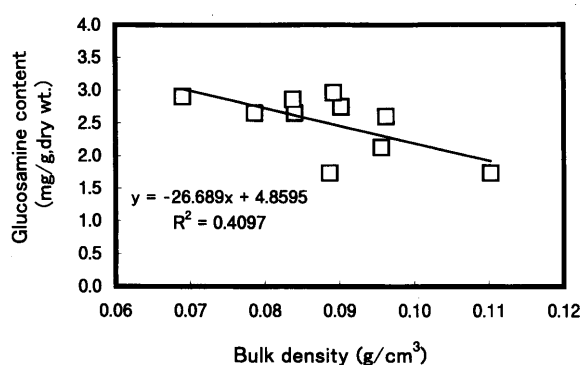


Fig.17 Relationship between bulk density and glucosamine content, incubated 30 days

- 537(2000)
- 3) 青山政和, 関一人, 第 51 回日本木材学会大会研究発表要旨集, 494(2001)
 - 4) 池田和彦, 豊田勇樹, 吉川みどり, 吉賀千尋, 岩井和人,

三輪大地, 安江博明, 今西隆男, 坂輪光弘, 第 27 回炭素材料学会年會要旨集, 172-173(2000)

- 5) 今西隆男, 芝信彦, 野中重太郎, 平田泰健, 吉田みどり, 安江博明, 池田和彦, 坂輪光弘, 第 27 回炭素材料学会年會要旨集, 174-175(2000)
- 6) Bumpus, J. A., Wright, M. T. D., Aust, S. D., *Science*, 228, 1434 (1985)
- 7) 堀越孝雄, きのこの一生 (築地書館), p. 54(1990)
- 8) Arima, K. and Uozumi, T., *Agri. Biol. Chem.* 31, 119(1967)
- 9) Tokimoto, K and Fukuda, M., *Taiwan Mushrooms*, 5 (1), 1 ~ 5 (1981)
- 10) 王子製紙編, 紙・パルプの実際知識 第 5 版 (東洋経済新報社), p.21(1998)
- 11) 出井利長, 木材科学講座 4 化学 (海青社), p. 15(1996)
- 12) 城代進, 木材科学講座 4 化学 (海青社), p. 120(1996)
- 13) 中原雅則, 新・炭素材料入門 (リアライズ社), p. 72(1998)