

古紙から造った炭の植物栽培床としての利用

Utilization of charcoal made from used paper as a bed for plants

坂輪 光弘、今西 隆男、池田 和彦、安江 博明、眞邊 照展、江口 敏記、
豊田 勇樹、野中 重太郎、山崎 和紀

Mitsuhiro Sakawa

Terunobu Manabe, Toshiki Eguchi, Yuki Toyada, Jutaro Nonaka, Kazunori Yamasaki

高知工科大学 物質・環境システム工学科
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

E-mail: sakawa@mail.kochi-tech.ac.jp

要約：古紙のリサイクルは資源利用の観点から重要である。著者らは、粉碎した古紙を圧縮成型後に炭素化を行い、植物栽培床として利用することを考えた。従来の木炭では植物が育成することは困難である。その理由は、木炭の細孔径が、小さいため植物が根を張り巡らすことができないと考えられる。木材を炭にするとき、生成炭の細孔は原料の細孔に依存する。そこで、原料の細孔をコントロールするために、粉碎した古紙に圧力を加えることでコントロールすることを試み、炭の細孔を変化させることができた。このことにより、古紙から造った炭に植物を育成することを可能とした。この古紙から造った炭を、植物に適した培地とするために製造条件とその特性の検討を行った。

Abstract : Recycling of used paper is important from the viewpoint of resources utilization. Authors have tried to utilize used paper as a seedbed or a flowerbed for plants. The used paper is smashed into fragments, and packed in a mold, then carbonized. It is impossible to growth a plant or seed in a traditional charcoal. But this charcoal from used paper is possible to growth a plant or seed. Because this charcoal has a lot of pores, compared with a traditional charcoal. The pressure in the mold before carbonization is related to pore volume of the charcoal. Then we can control pore of the charcoal. This paper shows the most suitable condition for growing plants and the condition for producing the charcoal.

キーワード； charcoal, pore, plantbed, carbonization, usedpaper 炭、気孔、植物栽培床、炭素化、古紙

1. 緒言

我が国の2000年の紙生産量は1,904万トンに

のほり多量の紙が生産・消費されている¹⁾。また、古紙の回収率は58%が回収、再利用されて

おり、古紙の利用率も年々、少しずつ上昇し続けている。しかし、繰り返し使用などによる低質古紙を中心に利用されていないものも多い。近年では政令指定都市をはじめ各地の自治体において事業系一般廃棄物の発生抑制と再利用・再資源化の促進を目的とした条例を制定している。そのため燃焼することが法的に難しくなっており、資源の活用を考えた場合に古紙の有効利用法の開発が必要となっている。

また、炭は健康志向により注目を集め、燃料・調湿・浄化・脱臭と様々な効果をもたらし、身近な存在になっている。しかし、現実には、商品として炭を市場に提供するには、付加価値の付いた炭でないと難しい。その中で木炭と生物の親和性はよく知られており、木炭に微生物を付着させ水質浄化などに利用されている。

著者らは、低質古紙を原料として造った炭に植物や菌糸が生育することを見出した^{2,3,4,5)}。この炭と従来の木炭との比較を製造方法や物性から行った。また、植物の生育に必要な水の吸収性や栄養素の吸着状況を調べた。その結果、植物の生育に最も適した炭を古紙から造る条件とその性質を見出したので報告する。即ち土を全く使わない炭だけの植物の栽培床の開発である。

2. 実験

2.1 古紙から炭の製造

重量比で約1:10の古新聞紙と水を家庭用ジューサーで1分間粉碎する。これをざるにあげ、軽く水を搾って紙粘土状にする。この紙粘土を円筒形のホルダー（1 cm 径）に詰め、プレス機で所定の圧力を加え、1時間保持して試料を成型した。試料を105℃、24時間乾燥させたものを炭素化した。炭素化は、電気炉（炉内径40mm）を用い、窒素雰囲気下で行った。昇温速度は10℃/minで行い、所定（400、600、800、1000℃）の温度に昇温後、1時間保持した。植物の栽培床に用いる場合は、紙粘土を素焼きの鉢に10kgf/cm²の圧力で詰め、乾燥後、大型

電気炉（山田電機社製、径30cm、深さ60cm）内で10℃/minの加熱速度で窒素雰囲気下で所定の温度まで加熱して炭素化した。

2.2 生成炭の物性測定

古紙の炭素化過程は、熱天秤と熱膨張測定装置（マックサイエンス社製、WS002）を用い、窒素雰囲気下で、10℃/minの加熱速度で調べた。炭素化前後の体積と重量から嵩密度の測定を行った。生成炭の細孔は水銀ポロシメーター（Thermo Quest 社製）で測定した。走査型二次電子顕微鏡（日本電子社製、JSM-5310）で生成炭の表面性状の観察を行った。

2.3 生成炭の吸水性と植物栄養源の透過性

生成した炭で植物を栽培するには、皿状の容器に炭の鉢を置き、水及び水溶性の栄養を添加する必要がある。この時、底から水を吸い上げるのであるが、吸水の程度を調べるため、水に漬けた状態から時間毎に重量増加を測定した。また、水溶性の栄養源を植物の根が吸い上げる際に、炭が栄養素を吸収して、植物に栄養が供給されない問題である。そこで炭の吸着特性が植物を育てる際に必要とされる3大栄養素（窒素・リン酸・カリウム）の供給を阻害しないか検討する実験を行った。硝酸アンモニウム、リン酸二水素化カリウムを1000ppmになるように希釈した溶液を使用した。この溶液をビーカーに300mlずつ注ぎ、古紙炭片（1.5×3.5×4.0cm）を1つずつ加えた。次にビーカーから所定の時間毎に溶液を30mlずつ分取して、それぞれ JIS K 0102-43.2.1、JIS K 0102-46、JIS K 0102-49に準じ濃度を測定し、時間に対する炭素片の吸収による濃度減少率を求めた。

2.4 植物の生育

生成した鉢状の炭に竹べらなどで穴をあけ、植物の種（アサガオ（*Ipomoea nil*）または苗（サボテン（*Rebutia wessneriana*、クロマツ（*Pinus*

thunbergii)、ハイビスカス (*Hibiscus vosasinensis*) を移植した。炭の鉢を水を浸した皿状の器の上に置き、適時水を補給した。また適宜養分を皿の水に加えることで植物の生育を行った。

3. 結果と考察

3.1 炭素化温度と

成型圧による炭の細孔と密度の関係

Fig.1 は、熱天秤と膨張収縮測定装置による炭素化時の重量減少と線収縮の測定結果である。重量減少は200℃付近から始まり、280℃付近で急激になり、ほぼ400℃で再び緩やかになる。600℃での重量は炭素化前の約15%程度である。線収縮は、260℃付近から穏やかに始まり、310℃付近で急激になる。600℃での線収縮率は炭素化前の約70%である。

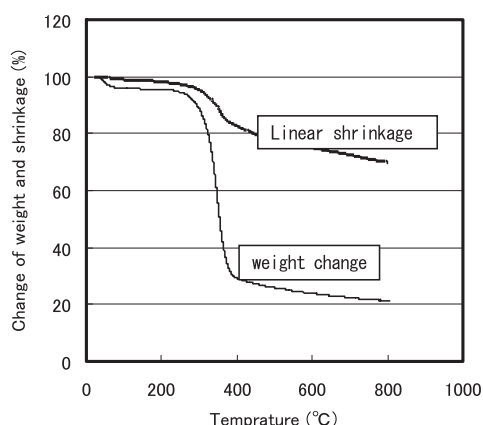


Fig.1 Weight change and linear shrinkage during carbonization of used paper

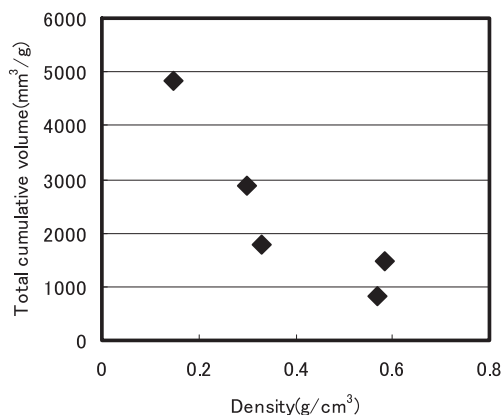


Fig.2 Relationship between density and cumulative volume

Fig.2 に生成炭の嵩密度と細孔量の関係を示した。嵩密度が細孔量と嵩密度が反比例の関係にある。細孔量を増大させるにはより低い嵩密度にすることが必要である。

Fig.3 は、炭素化前の成型圧と生成炭の嵩密度変化を示した。この結果から成型圧が高く、炭素化温度が高いほど、生成した炭の嵩密度も高いことが判る。しかし50kgf/cm²以下の成形圧であれば、0.3g/cm³以下の密度の炭を得ることが出来る。

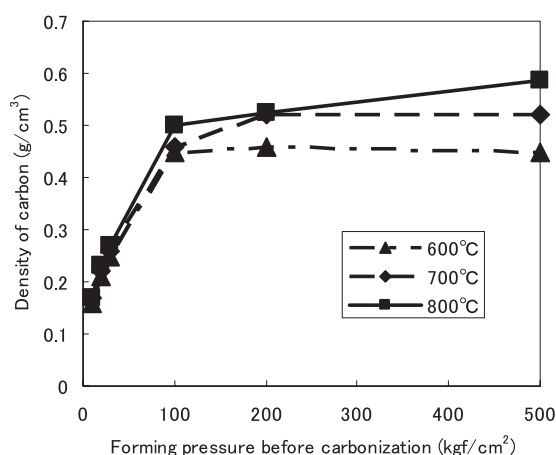


Fig.3 Relationship between forming pressure before carbonization and density of charcoal

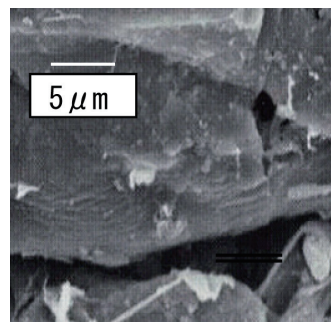


Photo.1 SEM photograph of charcoal made from used paper

Photo. 1 に古紙炭の走査型電子顕微鏡 (SEM) 写真を示す。この写真から、繊維間にできた比較的大きな気孔と繊維の表面にできた小さな気孔が観察できる。前者は、1 μm 以上である。備長炭や活性炭は、多孔体で 1 μm 以下の細孔を多く有していると報告されている⁴⁾。しか

し、古紙炭素化物はSEM 画像上で観察できる通り、 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上の細孔を多く確認できる。

Fig. 4 に従来の木炭と 50kgf/cm^2 の成形圧、昇温速度 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 最高温度 600°C で炭素化した炭の細孔分布を示した。古紙から造った炭はスギ木炭に比べ、数倍の細孔量を有している。細孔分布では、特に $1\sim 10\text{ }\mu\text{m}$ 付近の細孔が多い。

この $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上の細孔と $1\text{ }\mu\text{m}$ 未満の細孔の生成を調べるために各温度まで炭素化し急冷したサンプルの細孔を分けて調べたのが Fig. 5 である。

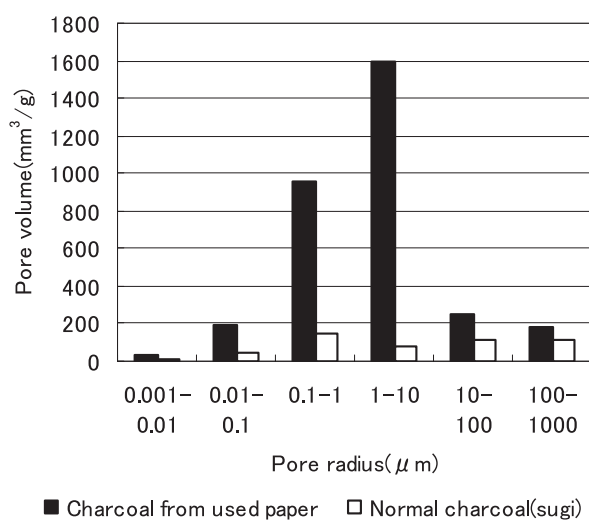


Fig.4 Pore diameter distribution of charcoals made from used paper and normal charcoal(sugi)

$1\text{ }\mu\text{m}$ 以上の細孔は 400°C 付近で大きく増加している。一方 $1\text{ }\mu\text{m}$ 未満の細孔も 400°C 付近からわずかに増加している。この結果 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上の細孔を増加させるには 400°C 以上の温度での炭素化が必要なが判る。また $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上の細孔は、古紙繊維間の気孔に由来すると考えると原料成型圧に関係し、 $1\text{ }\mu\text{m}$ 未満の細孔は原料からの揮発が主な原因であると考えたと考えられる。

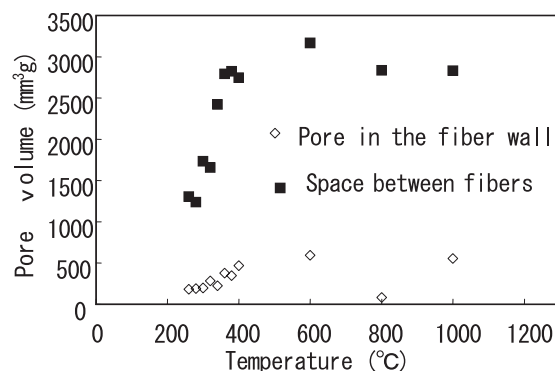


Fig.5 Pore volume change with elevating carbonization temperature

以上の結果から $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上の細孔量が多い古紙炭素化物を造るには 50kgf/cm^2 以下の成型圧で粉碎古紙を成形し、 400°C 以上の温度で炭素化すればよい。

3.2 炭の吸水性と植物栄養素の吸着性

植物が生育するには、水が重要である。炭を水に漬けその後、どの程度水を吸い上げていくかを調べたのが Fig.6 である。

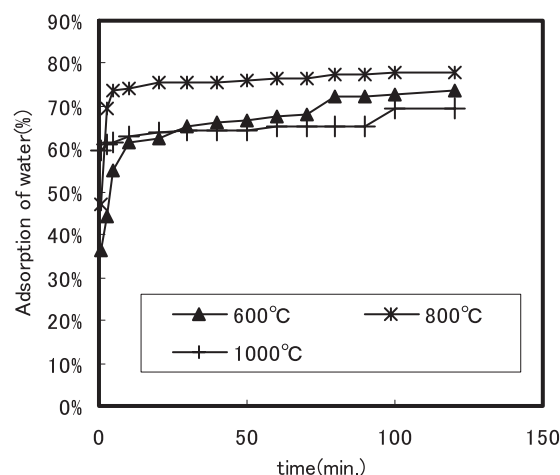


Fig.6 Water adsorption of charcoal made from used paper

水の吸水は、すぐにほぼ飽和に達し、その後の吸水性はごく僅かである。炭素化温度としては、 800°C が最も吸水性が良かったがこの理由は十分には判っていない。その理由としては、 600°C ではタールなどの疎水性成分が試料表面に付着し、その熱分解が十分ではなかったと考

えられる。1000℃では、温度上昇による炭素の結晶化が進み、ミクロ孔が減少し毛細管現象による水の吸い上げが少なくなったのではないかと考えている。

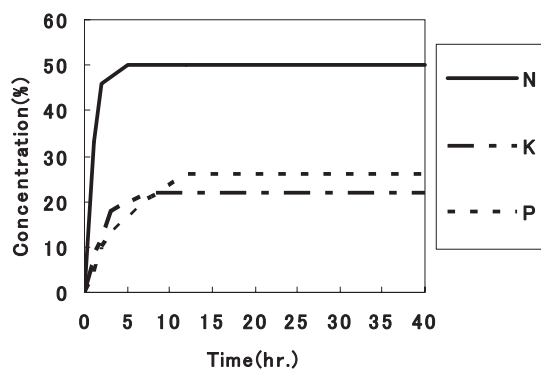


Fig.7 Absorption of nutritious elements by charcoal

Fig. 7 に古紙炭の栄養素の吸着率を示した。その結果、3 栄養素とも何れも直ぐに飽和し、それ以上の炭による吸着は見られない。すなわち炭の鉢では、栄養素は炭にも吸着されるが、直ぐに飽和に達し、植物にも十分行き渡ることが推定できる。但し、少量の栄養素では、炭の吸着の方が勝ることも考えられるが、十分栄養素を与えれば問題はないことが判る。むしろ養分を過剰に与えた場合、炭の栄養素吸着による緩和作用が働くことも考えられる。

3.3 植物の生育

素焼きの鉢に古紙を粉碎して紙粘土状にしたものを約50kgf/cm²の成型圧で詰め、800℃で炭素化した炭だけの鉢を作成した。



Before planting

After planting

Photo.2 Roots growing through the charcoal

Photo. 2に古紙から造った炭の鉢とそれにアサガオ (*Ipomoea nil*) を生育させたときの写真を示す。炭の鉢にアサガオの種を5月に蒔き、花が十分咲いた7月の根の状態を右側の写真に示す。植物の根が炭を突き破って生育していることが分かる。ここで植物が、古紙から造った炭に生育するのは、一つには、細孔量が非常に多いことが原因であると考えた。古紙炭素化物には特に1~10μm 付近の細孔が集中しているので根毛が約10μm と報告されているので根毛が十分に入り込めるスペースがある⁶⁾。そして、古紙炭素化物は繊維と繊維が絡み合い1 μm 以上の細孔を多く有しているので、根が全体に張り巡ることができるのではないかと考えた。



Photo.3 Blossom of flower planted in the charcoal pot

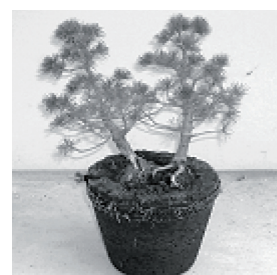


Photo.4 Growing of Pine tree planted in the charcoal

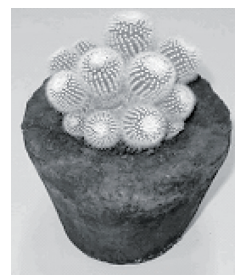


Photo.5 Cactus planted in the charcoal

Photo. 3は炭の鉢にハイビスカス (*Hibiscus vosasinensis*) を苗から生育させたものである。Photo. 4は炭の鉢にクロマツ (*Pinus thunbergii*) を移植したものである。Photo. 5はサボテン (*Rebutia wessneriana*) である。何れも移植後2ヵ月後の写真であるが、充分活着していることが判る。この炭の栽培床は、土より遥かに軽

量のためビルの屋上やベランダの緑化に使用できる。また、水耕栽培用としての利用も考えられる。

4. 結論

古紙を炭素化し、土を全く使わない植物栽培床として利用出来ることが判った。この栽培床は、軽量であるので屋上やベランダの緑化などヒートアイランド現象の抑制の可能性もある。

- (1) 古紙から造った炭の $1\ \mu\text{m}$ 以上の細孔は炭素化前の圧密の程度に比例する。
- (2) この細孔は、従来の木炭に比して十分大きい事が判った。
- (3) 植物の栄養素は、水溶性にして炭の底部に皿などを置き、そこから供給すれば植物が十分生育することが判った。

以上の結果から、古紙を粉碎後、 50Kgf/cm^2 以下の圧力で成型し、 400°C 以上の温度で炭素化すると植物が生育することが判った。

文献

- 1) 通商産業大臣官房調査統計部、平成11年、紙、パルプ統計年表 (2000) pp.20-24
- 2) M.Sakawa, T.Imanishi, K.Ikeda and Yasue; Carbon'02 An International Conference on Carbon in Beijin(Chaina), Proceeding (2002) 130
- 3) 山崎和紀、小笠原大介、今西隆男、坂輪光弘; 2004炭素、(No211) 4-9
- 4) 今西隆男、山崎和紀、江口敏紀、坂輪光弘; 日本エネルギー学会誌、2003、82、254-260
- 5) 坂輪、他; 日本国特許、特願平1-255381
- 6) 森田茂紀、土壌の働きと根圏環境 (農業技術体系土壌施肥編、第1巻) (1987) pp.27、農村漁村文化協会