

竹炭による排水中の有機物、界面活性剤および 窒素の除去と使用済み竹炭の再利用

張 野 宏 也^{*1} 八 束 絵 美^{*2}

Removal of Organic Substances, Anion Surface Active Agent and Nitrogen in Wastewater
by Bamboo Charcoal and the Reuse of Used Bamboo Charcoal

HARINO Hiroya^{*1} YATSUZUKA Emi^{*2}

^{*1} 神戸女学院大学 人間科学部 環境・バイオサイエンス学科 教授

^{*2} 神戸女学院大学 人間科学部 環境・バイオサイエンス学科 元嘱託教学職員、三浦市立三崎小学校 教諭
連絡先：張野宏也 harino@mail.kobe-c.ac.jp

要 旨

水質浄化材としての竹炭の利用を検討した。排水 1 L に竹炭 20 g を加え、手動または機械攪拌での除去率を比較した。有機物と窒素の除去率は手で攪拌した場合は 80% であったが、バイオシェーカーでは 40% であった。陰イオン界面活性剤の除去率は両方法ともに 90% であった。排水 1 L に対して竹炭 20 g または 50 g を加えた場合、有機物、窒素および陰イオン界面活性剤の除去率はほとんど変わらなかった。これらのことから、排水 1 L に対して竹炭を 20 g 加えて、1 日に 1 度 10 回手で振ると、1 ヶ月後、有機物の 90%、陰イオン界面活性剤の 100% および窒素の 60% が除去されることがわかった。

使用した竹炭をろ床材としてカイワレを栽培し、成長率をみた。未使用の炭に比べて、使用した竹炭を用いた場合、カイワレの成長速度は早いことがわかった。これより、竹炭に吸着された有機物や窒素がカイワレの成長を促進させていることが窺える。

キーワード：竹炭、有機物、陰イオン界面活性剤、窒素

Abstract

The applications of bamboo charcoal as the water treatment material for organic substances, anionic surface active agent and nitrogen were studied. The removal rate of organic substances and nitrogen by manual shaking is better than those by bioshaker. The removal rate of anion surface active agent by manual shaking was similar to those by mechanical shaker. The removal rates of organic substances and nitrogen by addition of 20 g bamboo charcoal were similar to those of 50 g bamboo charcoal for 1L of wastewater. After a month, 90% of organic substances, 100% of anionic surface active agent and 60% of nitrogen were removed in wastewater by manual shaking.

Radish sprouts were cultivated in bamboo charcoal which was used as the bed. The growth rate of radish sprouts on used bamboo charcoal was faster than those on unused bamboo charcoal, suggesting organic substances and nitrogen which were absorbed on bamboo charcoal promote the growth of radish sprouts.

Keywords: bamboo charcoal, organic substances, anion surface active agent, nitrogen

1. 研究の背景と目的

近年、地球温暖化や異常気象などの急激な変化や人口増加により世界各国で水不足が生じている。不衛生な水を使用することで疫病等が増加しているが、処理施設等を改善することにより約10%の疫病を予防することができるといわれている。しかし、世界人口の6億人が安全な水を利用することができず、約24億人が適切な衛生施設を欠いている¹⁻²⁾。例えば、1950-2013年で、インドでは約2.5倍、中国では約3.3倍に人口が急増するとともに水源の河川は生活雑排水の垂れ流し状態のため水質汚濁が進行し、食糧を得るための水さえ不足が生じている³⁾。また、バングラディシュなども同様で、河川水を浄水する施設が整備されておらず、多くの人々は飲料水に自然由来のヒ素を含む井戸水を使用していたため、ヒ素中毒問題が生じた。その後、深井戸やヒ素除去施設が作られたが、いまだ安全な水を利用している人々は少ない⁴⁾。このように、開発途上国における水不足は深刻な問題となっている。我が国では、1995年1月の阪神淡路大震災、2011年3月に発生した東日本大震災など震災時には、電気や水道などライフラインが切断され、多くの人々が飲料水や生活用水を得るのに困難な状況に陥った。水道管は地下深くに設置される場合がほとんどで、災害時はガスや電気に比べて復旧が遅くなり、安全な水が供給されるには時間を要した。災害時など水道が使用できなくなった場合、利用できる水を得る方法を模索する必要がある。近年、このような水質の悪化に対処するため、再生可能な資源であるバイオマスを活用する方法、つまり環境中に多く存在する微生物や植物などが注目されるようになった⁵⁻⁷⁾。さらに、バイオマスを加工することにより生成する炭の特性や機能を活かした水質浄化材料の開発も進められている⁸⁾。

竹は成長が3～5年と早く繁殖力も強く、古くから様々な材料として使用されてきた。日本の竹林面積は2007年3月現在159,000 haあり、少しずつ増加しており、特に西日本各地の里山地域での拡大が顕著であると報告されている⁹⁻¹¹⁾。要因としては、プラスチック等の代替材や安価な輸入竹材の影響、人々の生活が洋風化したことで竹の需要が年々減少し、平成18-22年の5年間で全国の生産量は約60%、生産者数は約45%減少した⁹⁾。さらにこの影響を受け竹林の管理者が減少したため放置竹林が拡大した¹¹⁻¹²⁾。竹は温暖で湿潤な土地を好む植物なので、日本だけでなくアジア諸国でも竹の需要の減少にともなう放置竹林の問題が生じている。放置竹林が里山にさらに拡大するのを防止するため、間伐竹の有効的な利用が考案されている。例えば、建築物の内装、外装用品、食器や傘等の生活用品、垣根など庭園用品、バイオマス燃料等に活用されている。また、水中に含まれる有害物質の吸着材としても応用されている。竹炭を使って、雨水や水道水に含まれているフタル酸エステル類4種（ジメチルフタル酸、ジエチルフタル酸、ベンジルフタル酸、ジ-n-ブチルフタル酸）や、カドミウム(II)の除去を検討している¹³⁻¹⁴⁾。さらに、竹炭を生活排水中に入れ攪拌することで、生活排水中のBOD、全窒素および陰イオン界面活性剤を減少させることができたと報告されている¹⁵⁾。粉末状の竹炭を用いて、飲料水からの硝酸性窒素の処理を検討した結果、硝酸性窒素に関しては、活性炭

よりも吸着力がよく、温度によっても安定しているという結果も得られている¹⁶⁾。竹を炭化するのみならず、それを過酸化水素処理したものを用いて水銀の除去を行う¹⁷⁾、チトサン処理をしてマイクロシステインの光学異性体の処理をする¹⁸⁾、水酸化ナトリウム処理をして排水からクロラムフェニコールの除去を試みる¹⁹⁾等、竹炭を化学物質で処理した吸着材も開発されている。また、炭化後、賦活化処理をして、水酸化テトラメチルアンモニウムおよびメチレンブルーの除去も試みられている²⁰⁻²¹⁾。鉛(II)の除去に関しては、通常の竹炭より活性炭の方が、除去率が高かったと報告されている²²⁾。竹炭単独使用ではなく、カーボンナノチューブとの掛け合わせにより銅イオンを除去する試みもある²³⁾。このように、竹炭の水質浄化材としての利用は、多くの物質に対して適用されている。

本研究では、緊急時における雑用水や東南アジアなどの水の浄化施設が完備されていない地域に対して、比較的安価で持続可能な資源である竹炭を利用して生活排水の雑用水への適応について検討した。さらに吸着材として使用した竹炭の有効利用についても検討する。

2. 実験

2.1 試料および吸着材

検水は神戸女学院大学から排出された事業排水または人工排水を用いた。神戸女学院の採水は2012年11月5日、9日、28日の3日間で、いずれも午前9時に直接下水道への接続管より採水した。また $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 50 mg、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 236 mg、 NaCl 100 mg、 NaHCO_3 150 mg、 $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 32 mg、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 70 mg、Glucose 50 mg、Peptone 210 mg をそれぞれ計り、これに100 mg/L のドデシル硫酸ナトリウム標準液 4 mL を加え、1 L に定容することで人工排水を調製した。

吸着材は焼成温度600–1000℃で、粒子径が平均3 mm のものを NPO 法人京都発・竹・流域環境ネットより譲与された。

2.2 対象物質

有機物、窒素および陰イオン界面活性剤を対象項目とした。また、竹炭は原材料が竹のためリンが含まれ、それが水中へ溶出する可能性がある。そのため、全リン濃度も測定した。

2.3 試薬および標準品

化学的酸素要求量 (COD) の測定に用いた硫酸は特級、0.1 mol/L 硝酸銀溶液は定量分析用を和光純薬工業株式会社より、12.5 mmol/L シュウ酸ナトリウム溶液および5 mmol/L 過マンガン酸カリウム溶液はキシダ化学株式会社より購入した。全窒素測定および全リン測定に用いた塩酸、水酸化ナトリウムは特級、ペルオキソ二硫酸カリウムは窒素・リン測定用を和光純薬工業株式会社から得た。陰イオン界面活性剤の標準液として用いたドデシル硫酸ナトリウムは石津製薬株式会社、四ほう酸ナトリウムは和光純薬工業株式会社から特級を購入した。また、メチレンブルーは WALDECK より購入した。吸着材として用いた竹炭は、NPO 法人京都発・竹・流域環境ネットより譲与され、比較として用いた粉末活性炭は和光純薬工業株式会

社より購入した。

2.4 浄化方法の検討

試水の振とう方法について検討した。実験期間中一日一度手で10回上下に振とうする手動攪拌と、バイオシェーカー（TAITEC 社 BR-300LF）で25℃、115 rpm で終日緩やかに振とうする機械攪拌を毎日行い、除去率への影響について検討した。さらに28日間経日的に各項目の濃度の推移をみた。また、排水1 L に対して竹炭または粒状活性炭を20 g または50 g と炭の量を変えることで、排水：炭の比率を1：50と1：20とし、除去効率をみた。

2.5 竹炭の再利用の検討

2.5.1 使用後の竹炭の成長促進剤としての利用

脱脂綿のみと、脱脂綿と浄化試験に使用前後の竹炭1 g、3 g、5 g を入れたろ床材を作成し、それにカイワレ20粒を加えて植物の全長を測定し、28日後の成長率をみた。

2.5.2 使用後の竹炭の土壌改良材としての利用

土壌および土壌に使用後の竹炭または活性炭を5 %、10 %、15 % となるように含有したものをろ床材として用い、それにカイワレ20粒を加えて14日後の成長率をみた。

2.5.3 竹炭に吸着した有機物の量とカイワレの成長率との関係

竹炭を有機物濃度が各々100 mg/L、300 mg/L、500 mg/L、750 mg/L、1000 mg/L に調製した人工排水1 L 中に入れ3時間攪拌して有機物を吸着させた。この竹炭をろ床材として、それにカイワレを20粒加え、成長率をみた。

2.6 化学測定

2.6.1 有機物（酸性 COD 法）

有機物は JIS K 0102 45.2 に記載されている酸性過マンガン酸カリウム消費量（酸性 COD 法）で測定した。はじめに、検水100 mL をコニカルビーカー300 mL に採った。そのビーカーに硝酸銀溶液2 mL と硫酸(1+2) 5 mL を加えて、次いで5 mmol/L の過マンガン酸カリウム溶液を10 mL 正確に加え振り混ぜ、直ちに沸騰水浴中に入れ30分間加熱した。その後12.5 mmol/L シュウ酸ナトリウム溶液10 mL を正確に加え攪拌した。5 mmol/L 過マンガン酸カリウム溶液で滴定し、有機物の濃度を算出した。

2.6.2 全窒素（紫外線吸光度法）

全窒素は JIS K 0102 45.2 に記載されている紫外線吸光度法で測定した。遠沈管に試水50 mL、ブランクとして蒸留水50 mL を採取した。それに水酸化ナトリウム・ペルオキシ二硫酸カリウム溶液を10 mL 入れ混合後、オートクレーブで120℃、30分間加熱分解した。上澄み液25 mL を30 mL 共栓試験管に分取し、塩酸(1+16) 5 mL を加え混合し、測定用試料とした。検量線は、5 mg/L の硝酸性窒素標準液2 mL、4 mL、6 mL、8 mL および10 mL を30 mL 共栓試験管に採取し、蒸留水を加え25 mL にし、0.4 mg/L、0.8 mg/L、1.2 mg/L、1.6 mg/L、2.0 mg/L の検量線用試料を作成した。それに塩酸(1+500) 5 mL を加え波長220 nm の吸光度

を測定し、窒素の濃度を測定した。

2.6.3 陰イオン界面活性剤（メチレンブルー吸光度法）

陰イオン界面活性剤は JIS K 0102 30.1.1 に記載されているメチレンブルー吸光度法で測定した。100 mL 容分液漏斗に蒸留水 25 mL、クロロホルムで洗浄したアルカリ性四ほう酸ナトリウム溶液 5 mL 含有メチレンブルー溶液 2.5 mL、試水 50 mL を加えた。そこにクロロホルム 10 mL を加えて、約 1 分間振り混ぜて放置した。分離したクロロホルム層を、蒸留水 50 mL、アルカリ性四ほう酸ナトリウム溶液 5 mL 含有メチレンブルー溶液 2.5 mL および硫酸 (1+35) 1.5 mL を入れた分液漏斗に移した。再び試水を入れた分液漏斗にクロロホルム 10 mL を加えて 1 分間振とう後、クロロホルム層を先のクロロホルム層に合わせて 1 分間振とうした。クロロホルム層を 25 mL 容試験管に分取し、クロロホルムで 20 mL に定容した。これを吸収セルに移し、波長 654 nm の吸光度を測定した。空試験として蒸留水 50 mL、検量線作製のために 100 μ g/mL 陰イオン界面活性剤標準液 0.5 mL、1 mL、5 mL に対して蒸留水を加え 50 mL として、試料と同様の操作を行い陰イオン界面活性剤の濃度を算出した。

2.6.4 全リン（モリブデンブルー法）

全リンは JIS K 0102 46.3.1 に記載されているペルオキシ二硫酸カリウム分解法で測定した。遠沈管に試水を 50 mL 採取し、ブランクとして蒸留水 50 mL を採取した。それに水酸化ナトリウム・ペルオキシ二硫酸カリウム溶液を 10 mL 入れ混合後、オートクレープで 120℃、30 分間加熱分解した。上澄み液 25 mL を 30 mL 共栓試験管に分取した。検量線は 5 mg/mL リン標準液 2 mL、4 mL、6 mL、8 mL および 10 mL を 30 mL 共栓試験管に採取し、蒸留水を加え 25 mL にし、0.4 mg/L、0.8 mg/L、1.2 mg/L、1.6 mg/L、2.0 mg/L の検量線試料を作成した。検量線用および測定用試料は発色試薬としてアスコルビン酸とモリブデン酸の混合溶液 2 mL を加えた後、室温で 15 分間放置後、波長 880 nm の吸光度を測定し、リンの濃度を算出した。

2.7 統計解析

統計は Excel 2007 の分析ツールを用いて、それぞれの実験処理で測定したカイワレの全長について信頼区間 95% とした t 検定を行った。

3. 結果と考察

3.1 攪拌方法

手動攪拌と機械攪拌の 2 法を用いて、各項目の除去率を検討した (Fig. 1)。攪拌 1 日後有機物濃度は手動攪拌では 60% 減少していたが、機械攪拌では約 20% であった。その後、日が経過するにつれ除去率の差が大きくなり、14 日後には手動攪拌では 80% になったが、機械攪拌では約 10% であった。窒素の濃度は 1 日後、手動攪拌では 50% 除去していたが、機械攪拌では約 10% であった。14 日が経過しても、その両者の除去率の差はほとんど変わらなかった ($p < 0.05$)。このことから、有機物や窒素の除去に関しては、機械攪拌と比べて手動攪拌のほうが適していることがわかった。しかし、有機物や窒素の除去率は 100% に至っていない。これは、有機物および窒素の量が竹炭の吸着容量を超えていることが考えられる。一方、陰イオ

ン界面活性剤の除去率については、攪拌方法による違いは認められず、両者とも攪拌1日後には約90%、それ以後は100%であった。これは、陰イオン界面活性剤は竹炭への吸着力が非常に高いことから、手動および機械攪拌に差が出なかったことが考えられる。

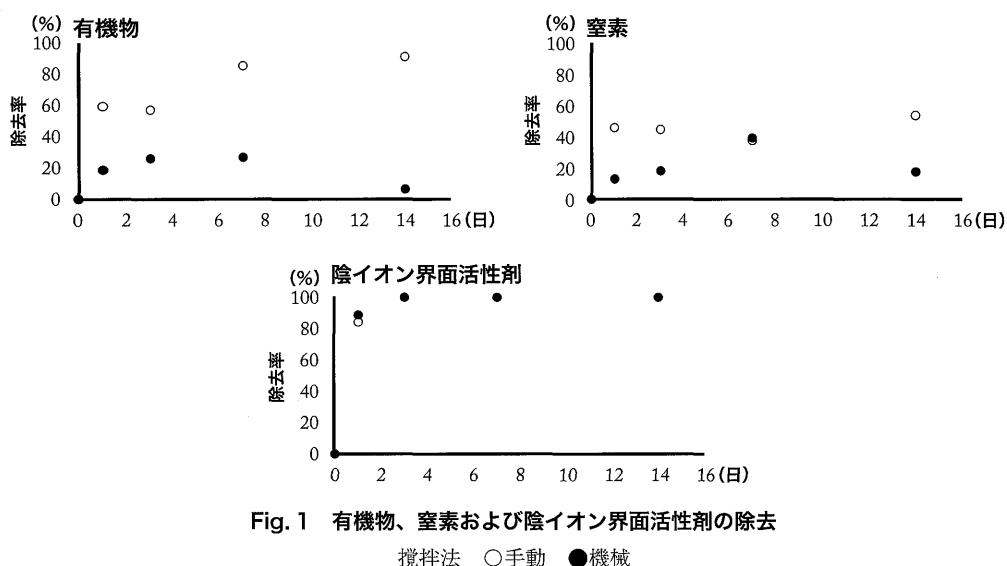


Fig. 1 有機物、窒素および陰イオン界面活性剤の除去
攪拌法 ○手動 ●機械

竹炭の原料は竹であるため、植物に元来含まれているリンが、炭作成時の焼成温度では十分に抜け切れず、それが浄化している際に水中に溶出することが想定できる。そこで、浄化水のリンについても測定した。Fig. 2に示すように、リンの水中濃度は攪拌1日後から溶出し、その後手動攪拌では若干減少したが、機械攪拌ではほとんど変わらなかった。これは、リンと竹炭間で吸脱着が起こっており、それらが平衡状態になった時、見かけ上の除去率が得られる。機械攪拌の場合は常時同じ動きで振とうされているため、実験期間の平衡状態は同じである。しかし、手動の場合は一日に一度しか振とうしないため、吸着速度が脱着速度を上回り、見かけ上除去率が低下しているのかもしれない。有機物、窒素、陰イオン界面活性剤およびリンの結果および汎用性の面からも判断すると、機械を用いて攪拌するより手で攪拌する方が好ましいことがわかった。

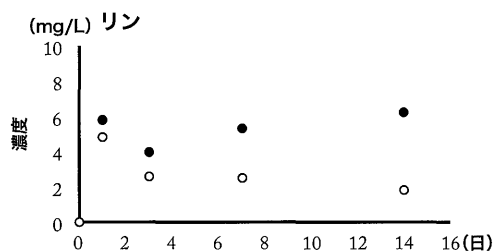


Fig. 2 手動およびバイオシェーカーによる混合法によるリンの濃度の変化
攪拌法 ○手動 ●機械

3.2 竹炭と排水との比率

排水 1 L に対し竹炭の加える量を 20 g と 50 g に変えることにより、有機物、窒素および陰イオン界面活性剤の除去率の変化をみた (Fig. 3)。この際に用いた排水中の有機物濃度は 52 mg/L、窒素は 29 mg/L、陰イオン界面活性剤は 0.12 mg/L であった。28 日間の有機物と窒素の除去率の推移をみると、徐々に除去率が上昇している傾向が認められるが、陰イオン界面活性剤の濃度は 1 日後から 100% に近い値になった。しかし、その傾向は竹炭の量を増加しても濃度の差に有意差が認められなかった ($p < 0.05$)。

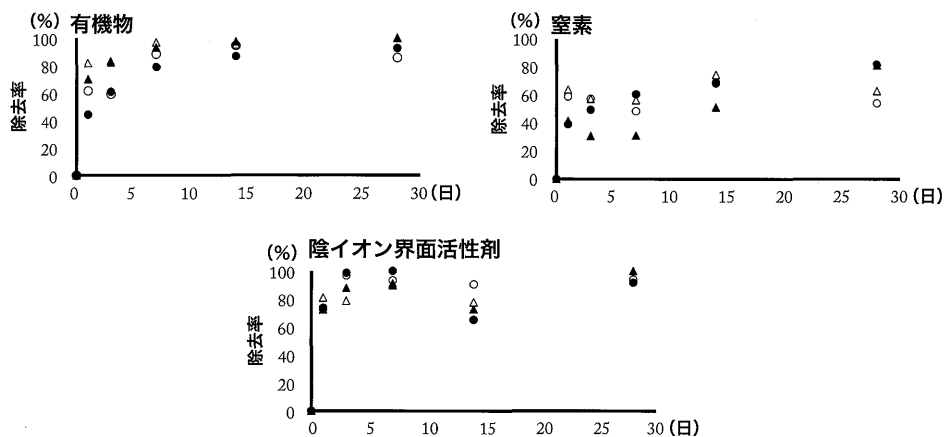


Fig. 3 生活排水中の有機物、窒素および陰イオン界面活性剤の除去

竹炭の量：○ 50 g ● 20 g 活性炭の量：△ 50 g ▲ 20 g

竹炭に含まれるリン化合物の溶出を検討するためにリン濃度を測定した (Fig. 4)。排水への竹炭投入後 1 日後にはリン化合物が溶出したが、その後水中のリン濃度は減少した。この現象は竹炭の量が 50 g、20 g のいずれの場合も同様の傾向が認められ、両者のリン濃度を比較すると、竹炭が多いほど排水中のリン濃度は若干高かった ($p < 0.05$)。これらのことより、排水中の有機物、窒素および陰イオン界面活性剤を除去する場合、リンの溶出を考慮すると 1 L の排水に対して竹炭を 20 g 加える方法が適していた。

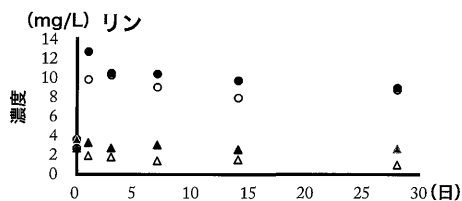


Fig. 4 生活排水中のリンの濃度の変化

竹炭の量：○ 50 g ● 20 g 活性炭の量：△ 50 g ▲ 20 g

3.3 活性炭との比較

粒状活性炭は従来から水中の汚染物質等の吸着材として使用され続けている。竹炭による有機物、窒素および陰イオン界面活性剤の除去率を粒状活性炭吸着材と比較した (Fig. 3)。有機物の除去率は粒状活性炭が1日後に80%に達するのに対して、竹炭の場合は60%であったが、7日後では85%となり、29日後では両吸着材間の除去率に有意な差はなくなり90%となった。窒素や陰イオン界面活性剤の値については、吸着実験の1日後から竹炭と活性炭の除去率にほとんど差がみられず、窒素は60%、陰イオン界面活性剤は約100%であった。吉澤²⁴⁾は650℃で焼成した竹炭を用いて金属加工工場からの排水処理試験を行い、レキ担体に比べて竹炭担体の方が有機物とアンモニア性窒素の吸着能が高いと報告している。これは、竹炭表面に微生物が生物多層膜を形成する性質を有しており、それが吸着と分解に関与したと考察している。本研究では微生物観察を行っていないが、有機物である竹炭や活性炭は、本来の吸着メカニズムに加えて微生物担体として機能していることが示唆される。リンに関しては、Fig. 4に示すように竹炭から水中に溶出し、排水中の濃度は活性炭の約5倍である10 mg/Lになった。以上の結果から、竹炭の有機物、窒素および陰イオン界面活性剤に対する吸着力は活性炭とほとんどかわらなかったが、リンに関しては竹炭から溶出してくるという課題が残った。全リンは水道水質基準項目にははいっていない。しかし、水質汚濁に係わる環境基準においては全リンに関する基準値が設定されているため、竹炭による浄化水を流す場合は、直接公共用水域に捨てずに下水道に流すように心がけなければならない。

3.4 カイワレの成長促進材

使用した竹炭の植物成長促進剤としての利用を検討した。用いた植物は、栽培が容易で成長が早いので成長実験にしばしば使用されているカイワレである。シャーレにカイワレの種を20粒まき、10日間23℃の暗所で栽培した。その間、ろ床材が乾かぬよう適宜蒸留水を加えた。経日毎に全長および根の長さを測定した。Fig. 5に示すように、使用した竹炭3gをろ床材として用いた時成長が一番よく、次いで使用済みの竹炭1gを使用した時であった。未使用の竹炭

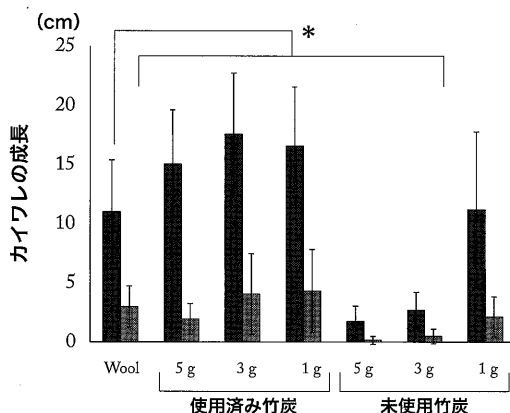


Fig. 5 カイワレの成長と竹炭の量との関係

■ : 全長、▨ : 根の長さ * $p > 0.05$

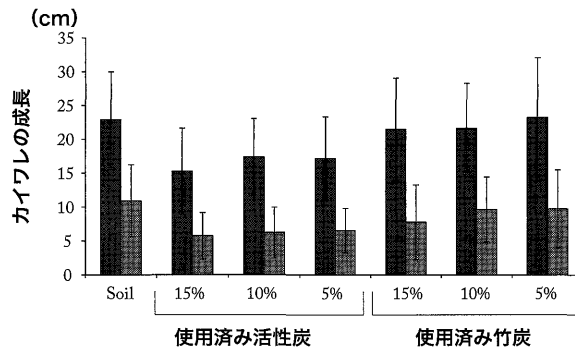


Fig. 6 土壌改良材としての活性炭と竹炭の利用

■ : 全長、▨ : 根の長さ

を 3g または 5g 用いた場合では、使用済みの竹炭を加えた時に比べ成長が悪かった。つまり、使用済みの竹炭は、元来含まれているリンに加え、排水中の窒素が吸着しているため、それらがカイワレの栄養素となり成長が促進されたと考えられる。竹炭の量による差はみとめられなかったが、ろ床材として綿のみを使用した時に比べても使用済み竹炭の方がカイワレの成長を促進することがわかった。

土壌に、人工排水および神戸女学院排水の浄化に使用した活性炭または竹炭を混合させることによるカイワレの成長に対する影響を検討した (Fig. 6)。土壌に竹炭を 5%、10%、15% 混合させたものをろ床材として用いた場合、すべてにおいて成長の差はみられなかった ($p > 0.05$)。また、人工排水または神戸女学院排水と 2 種類浄化に使用した排水を変えたが、カイワレの成長に差は認められなかった ($p > 0.05$)。今回の実験では、竹炭や活性炭を加えるよりも土壌のみが最も成長したが、これは土壌本来に含まれる養分がカイワレにとって十分であったからかもしれない。

COD 濃度が 100 mg/L、300 mg/L、500 mg/L、750 mg/L および 1000 mg/L に調製した排水 1 L 中に入れ有機物を吸着させた竹炭をろ床材として用い、有機物の量とカイワレの成長をみた (Fig. 7)。吸着させる排水中の有機物濃度が低いと、綿のみや未使用の竹炭と使用済みの竹

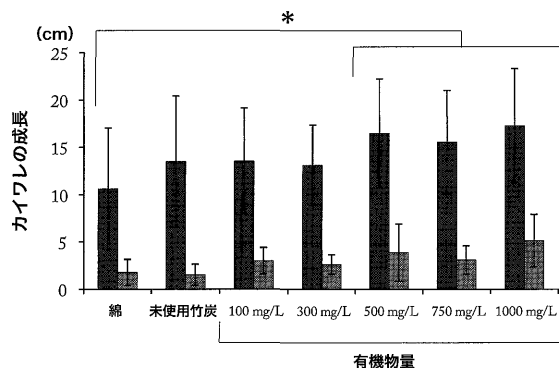


Fig. 7 カイワレの成長と竹炭に吸着している有機物との関係

■ : 全長、▨ : 根の長さ * $p > 0.05$

炭の間に差がみられなかったが、有機物濃度が500 mg/L 以上の高濃度となると、使用済みの竹炭をろ床材として用いた方が、綿や未処理の竹炭にくらべて成長がよかった。これは、竹炭に吸着した有機物がカイワレに吸収され、成長が促進されたことが推察される。これらの結果から、痩せた土壤に、使用済み竹炭を混合させる等、土壤改良剤として利用できることが示唆される。

4. まとめ

実用化レベルを考慮し、排水1 Lに対して竹炭の量を増加させ実験を行った。有機物や陰イオン界面活性剤の除去率はほぼ同じであったのに対して、窒素は竹炭と水の比率が排水1 Lに対し20 gのほうが50 gに比べ、若干除去率が高かった。しかし、リンに関しては排水1 Lに対し50 gの炭が多い場合の方がより多く溶出したため、総合的に考えると20 gが好ましいことがわかった。また、竹炭の吸着速度は速く、竹炭を投入後1日で吸着し、その後は横ばいであった。また粒状活性炭と竹炭の除去率を比較すると、ほとんど変わらないことがわかった。さらに、有機物や窒素を吸着した竹炭を、カイワレを栽培するためのろ床材として使用した場合、綿や竹炭を加えていない土壤に比べて、成長が促進されることがわかった。このことより、竹炭は水質の浄化材として使用できる可能性が示唆され、使用済みの竹炭も土壤改良材として使用できることがわかった。この実用化にはまだ時間を必要とするが、本研究の結果は今後の基礎データとして活用されることが望まれる。

参考文献

- 1) UNICEF: 25 Progress on Sanitation and Drinking Water 2015 Update and MDG Assessment, 4-5 (2015)
- 2) 滝沢智：世界の水と衛生問題と日本の役割、水の知 自然と人と社会をめぐる14の視点、化学同人、京都、139-158 (2010)
- 3) 総務省 統計局：世界の統計17 (2014)
- 4) 徳永祐司：バングラディッシュの地下水ヒ素汚染地域に住む住民のヒ素曝露について、国立衛生試験場報告、125、1-6 (2007)
- 5) 長谷川有紀、八束絵美、張野宏也：ファイトレメディエーションによる水質浄化、神戸女学院大学論集、60(2)、21-30 (2013)
- 6) 張野宏也、八束絵美：炭を用いた水質浄化、神戸女学院大学論集、59(2)、36-46 (2012)
- 7) 張野宏也、橋本優子、綾部小百合、杉原香奈子、八束絵美、山尾千晶：竹炭による池の水中の有機物と窒素の除去、神戸女学院大学論集、62(1)、22-30 (2015)
- 8) 林聡、横山理英：植物系廃棄物を原料とする陰イオン交換機能性炭化物の利用技術、NTS、炭の製造と利用技術 多孔性炭素の広がる用途、東京、258-266 (2009)
- 9) 林野庁：竹関係資料 <http://www.rinya.maff.go.jp/j/tokuyou/tokusan/megurujoukyou/pdf/4take.pdf> (2011)
- 10) 鳥居厚志、井鷲裕司：京都府南部地域における竹林の分布拡大、日生誌、47、31-41 (1997)
- 11) 鳥居厚志：周辺二次林に侵入拡大する存在としての竹林、日緑化工誌、28、412-416 (2003)
- 12) 守村敦郎：「おかざき自然の森」地区にみる土地利用の変移、藝、3、17-28 (2006)
- 13) Zhao, R. S., Wang, X., Yuan, J. P. and Lin, J. M.: Investigation of feasibility of bamboo charcoal as solid-phase extraction adsorbent for the enrichment and determination of four phthalate esters in environmental water samples, J. Chromatogr., 1183, 15-20 (2008)
- 14) Wang, F. Y., Wang, H. and Ma, J. W.: Adsorption of cadmium (II) ions from aqueous solution by a new low-

- cost adsorbent-Bamboo charcoal, *J. Hazard. Mat.*, 177, 300-306 (2010)
- 15) 八東絵美, 山尾千晶, 永田寛治, 張野宏也: 竹炭を用いた生活排水の浄化, 平成23年度水環境学会講演要旨集, 591 (2012)
 - 16) Mizuta, K., Matsumoto, T., Hatate, Y., Nishihara, K. and Nakanishi, T.: Removal of nitrate-nitrogen from drinking water using bamboo powder charcoal, *Biores. Technol.*, 95, 255-257 (2004)
 - 17) Tan, Z., Qiu, J., Zeng, H., Liu, H. and Xiang, J.: Removal of elemental mercury by bamboo charcoal impregnated with H_2O_2 , *Fuel*, 90, 1471-1475 (2011)
 - 18) Zhang, H., Zhu, G., Jia, X., Ding, Y., Zhang, M., Gao, Q., Hu, C. and Xu, S.: Removal of microcystin-LR from drinking water using a bamboo-based charcoal adsorbent modified with chitosan, *J. Environ. Sci.*, 23, 1983-1988 (2011)
 - 19) Fan, Y., Wang, B., Yuan, S., Wu, X., Chen, J. and Wang, L.: Adsorptive removal of chloramphenicol from wastewater by NaOH modified bamboo charcoal, *Biores. Technol.*, 101, 7661-7664 (2010)
 - 20) Hameed, B. H., Din, A. T. M. and Ahmad, A. L.: Adsorption of methylene blue onto bamboo-based activated carbon: kinetics and equilibrium studies, *J. Hazard. Mat.*, 141, 819-825 (2007)
 - 21) Yamaguchi, A., Nishihama, S. and Yoshizuka, K.: Separation of tetramethyl ammonium hydroxide in waste water with ion exchange using activated carbon prepared by bamboo, *J. Ion Exchange*, 21, 375-381 (2010)
 - 22) Lalhruaitluange, H., Jayaram, K., Prasad, M. N. and Kumar, K. K.: Lead (II) adsorption from aqueous solutions by raw and activated charcoals of *Melocanna baccifera* Roxburgh (bamboo)—A comparative study, *J. Hazard. Mat.*, 175, 311-318 (2010)
 - 23) Zhang, J., Huang, Z. H., Lv, R., Yang, Q. H. and Kang, F.: Effect of growing CNTs onto bamboo charcoals on adsorption of copper ions in aqueous solution, *Langmuir*, 25, 269-274 (2009)
 - 24) 吉澤秀治: 炭担体による排水の微生物処理—炭による微生物群の増殖と排水処理の実証事例—, NTS, 炭の製造と利用技術 多孔性炭素の拡がる用途, 東京, 258-266 (2009)

(原稿受理日 2017年9月13日)