

(5) 渡良瀬貯水池池水を用いたケナフの栄養塩除去特性と
回収幹から製造した活性炭能力の評価

Nutrient removal by a kenaf hydroculture at the Watarase reservoir
and evaluation of activated carbon made from harvested core

大島秀則、唐沢 潔、坂之井和之、青井 透、大森美香子、平野景子
Oshima, H.*¹, Karasawa, K.*², Sakanoi, K.*³, Aoi, T.*⁴, Ohmori, M.*⁵, Hirano, K.*⁶

Abstract; The Watarase reservoir is the maximum flatland reservoir in Japan, and is one of the main water resources of metropolitan area. But at this reservoir, musty odor problem arises frequently by the eutrophication, and it becomes a serious problem in water usage. Though the reed field purification method is being tried as a purification countermeasure, it is also necessary to examine the other method. Kenaf is an annual tropical plant originated from Africa. It is known that kenaf can grow also in hydroculture and that the good activated carbon can be produced from the wood-base trunk which can be utilized for the removal of the musty odor. As a result, kenaf may be able to contribute to the water purification in the Watarase reservoir.

Then, the author carried out the purification experiment by the kenaf hydroculture system using the reservoir water, and characteristics of the purification were examined.

Next they tried to produce activated carbon for water treatment from the core of kenaf. It was found that good activated carbon which removes color and odor(2-MIB) as well as other activated carbons on the market can be produced from kenaf core. Information on the activated carbon was reported.

Keywords; Kenaf, *Hibiscus cannabinus.L.*, Watarase reservoir, eutrophication, nutrient removal, activated carbon, 2-MIB, humic acid

1.はじめに

渡良瀬貯水池は、利根川中流域に位置する我が国最大の平地貯水池で、首都圏の水がめの一つであるが、富栄養化に伴いカビ臭の発生が頻発し、早急に解決すべき問題となっている。そこで栄養塩の流入量削減対策として、汚濁河川のバイパス工事を実施し(施工済)、池水の直接浄化としてはヨシ原浄化(循環流量5m³/s)を実施している。遊水地内に自生するヨシを利用する直接浄化方法は、カビ臭を発生するプランクトンについては沈殿ろ過が主体であり、ヨシの刈り取りを行っていない現状では長期的な効果については不明である。

アオイ科ハイビスカス属のケナフ(*Hibiscus cannabinus.L.*)は、成長の早い熱帯性植物であり、従来穀物袋や荷造り紐等繊維利用の作物として栽培利用されてきたが、最近の地球温暖化問題の顕在化とともに、森林保全と温暖化防止に適した作物として注目されている。ケナフはアフリカ原産の熱帯性一年草であるが、水耕でよく育つことと草本としては極めて異例に幹が木質系であることから、良質の活性炭が製造できる可能性がある。

*1 国土交通省 関東地方整備局 渡良瀬川工事事務所

(Watarase river work office, Ministry of Land, Infrastructure and Transport)

*2 国土交通省 関東地方整備局河川部(河川調整課)

(Kanto Regional Developing Bureau, Ministry of Land, Infrastructure and Transport)

*3 山形県 土木部 (The Public Works Section, Yamagata Pref.)

*4 国立群馬工業高等専門学校 環境都市工学科

(Gunma national college of technology, Department of civil engineering)

*5 (株)群馬分析センター (Gunma Analysis Center.co.LTD)

*6 水道機工(株)(Suido Kiko Kaisha,LTD)

植物を利用した水質浄化法は、回収植物の有効利用が決め手であるが、ケナフは木質系である特徴を生かして多岐にわたる利用法が検討されており^{1)~5)}、ヨシとは異なる展開が期待される。特に回収した幹を原料に活性炭を製造し、色度成分とカビ臭除去に利用できれば、栄養塩とカビ臭の除去という一連の浄化プロセスが可能となる。そこで、渡良瀬貯水池池水を用いた長期連続通水実験を実施し、水質浄化能力を検討した⁶⁾⁷⁾。

次にケナフ幹から各種の条件で活性炭を製造し、渡良瀬貯水池のカビ臭の原因物質である2-MIB(2-メチルイソボルネオール)と色度成分のフミン酸(塩素と反応して発ガン性のトリハロメタンを生成する)に対する吸着特性を、市販の活性炭を対照として吸着試験を行った⁸⁾。

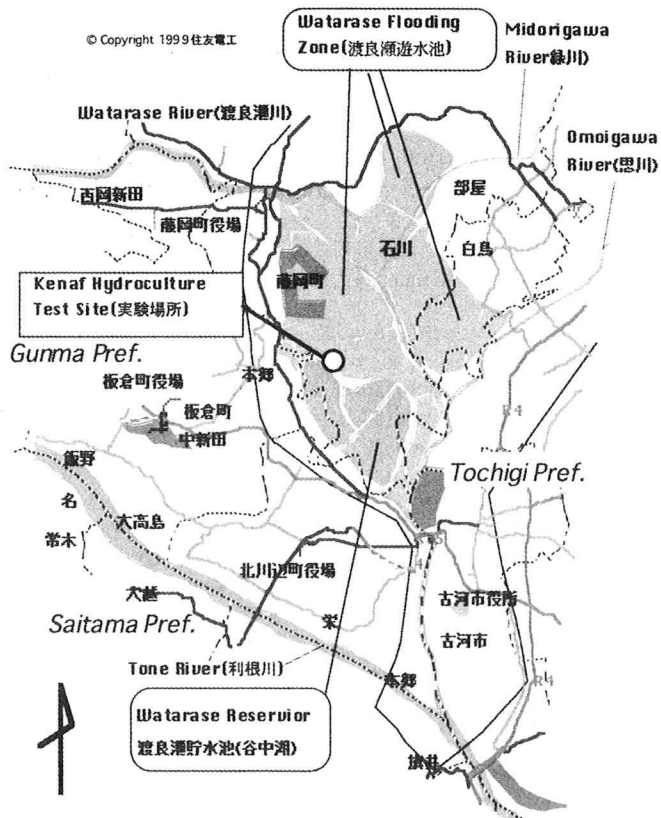
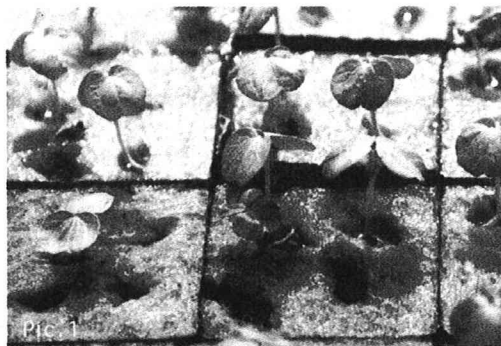


Fig.1 Layout of the Watarase Reservoir

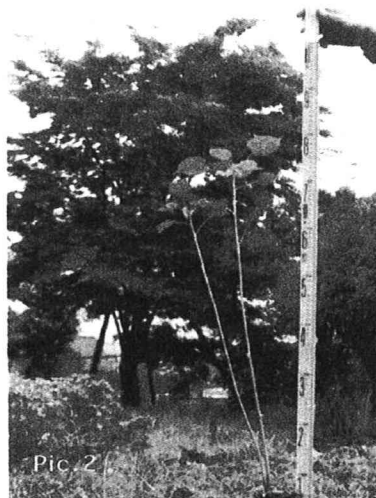
2. 実験方法

2-1 貯水池水を用いたケナフ水耕実験

ケナフの苗は、群馬高専に設置した露地のロックウールを用いた水耕栽培ベッドで育成させた。5月のはじめにPic.1に示すように育苗用ロックウールポット(ニチアス(株)製:75×75×75mm)にそれぞれ4粒のケナフ種(品種は青皮3号)を蒔き、液体肥料(タケダ園芸(株)家庭園芸専用肥料・花工場原液:窒素全量5%,水溶性リン酸10%,水溶性カリ5%)を加えた水道水で育成させた⁴⁾。Pic.2は種まきから1.5ヶ月後の6月



Pic.1 Kenaf seedling with rockwool pot in the hydroponic culture



Pic.2 Kenaf seedling after 1.5 months at transplanting

末、実験場所への搬出時の苗を示すが、約80cmに成長している。

実験を行った渡良瀬貯水池(谷中湖)の位置をFig.1に示した。渡良瀬遊水地は、利根川中流域の渡良瀬川合流点に位置する33km²の広大な遊水地であるが、その南端に4.5km²の渡良瀬貯水池がある。本実験は貯水池北ブロックの階段護岸上で実施した。

実験施設の配置をFig.2に示した。貯水池の沖合20m地点にフオートを4個設置し水深0.5mに取水口を設け、陸上設置のポンプ(日機装エコー(株)モノフレックスFP25)で湖水を吸引し、長さ20m、幅2mの3本の水路に供給した。各水路には止水シート上に10cm厚の川砂が敷き詰めてあり、水深は10cmである。A水路の供給水量は当初(7月~8月末)10l/minで運転したが、9月初旬からは30l/min(日量43.2m³)に増加させた。滞留時間は、当初5.8時間、9月初旬以降は1.9時間であった。B,C水路の流量は当初10l/min、9月初旬からは20l/minであったが、本研究では最もケナフ成長が良好だったA水路について検討した。

群馬高専より搬入したPic.2のケナフ苗を10本/m²の密度で植え付けた(7月2日、合計1200本)。植え付けた苗は、木の枠とロープで固定した。植え付けは、Pic.3に示すように、近くの小学校の児童及び父兄の協力で行われ、秋の収穫も同様に収穫したケナフで紙作りも実施した。

採水及びケナフの測定

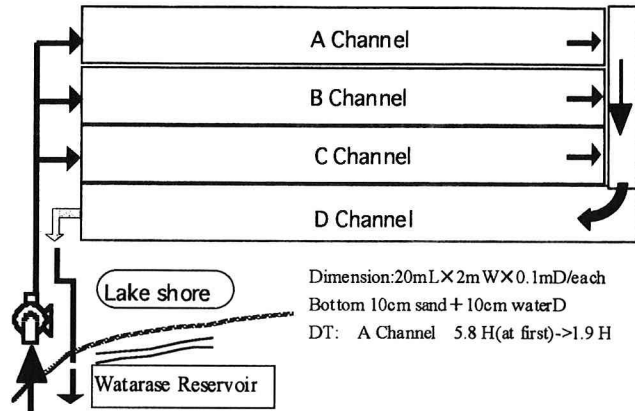


Fig.2 Ground plan of Kenaf Hydroculture system

Pic.3



Pic.3 Kenaf planting in cooperation with children of the elementary school nearby

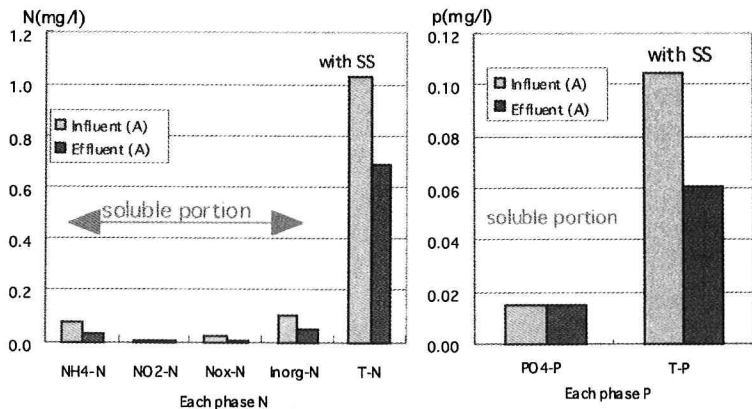


Fig.3 Nutrients removal at A channel with Kenaf

Table 1 Water quality of each sample and removal rate at A channel(Kenaf)

Sample	Tw	pH	EC	DO	NH4-N	NO2-N	Nox-N	Inorg-N	T-N	PO4-P	T-P	SS	Chl.a
Influent (A)	28	8.1	233	5.3	0.076	0.007	0.026	0.105	1.025	0.015	0.104	21.6	44.6
Effluent (A)	30	9.1	218	9.4	0.037	0.004	0.009	0.047	0.692	0.016	0.061	1.4	3.0
Removal rate					50.6%	46.2%	64.9%	54.9%	32.5%	-2.3%	41.9%	93.3%	93.2%

Notes: Concentration units were as follows; Tw(°C), EC(mS/m), Chl.a(μg/l), others(mg/l): n=16 for each sample
 :Sampling period('99.8/4->10/6)

は11月まではほぼ1週間に1度実施し、現地での測定と実験室での分析を実施した。分析項目は、SS, TOC, Chl.a, 各態窒素, 各態リンである。各態N・P濃度は、冷蔵輸送された試料を群馬高専にてブランルーベ社製オートアナライザー(AACCS-II)で測定した。各態窒素濃度はppbオーダーであり、特にNH₄-Nではろ紙による汚染が予測されたので、試料の上澄みを直接採水し分析に供した。T-N, T-Pには懸濁した試料を用い、ペルオキソ二硫酸カリウム分解後、オートアナライザーにて測定した。また現地でケナフの幹太さ(ノギスによる:水面上50cm部分)と高さ(箱尺による)を逐次測定した。

2-2 ケナフ幹からの活性炭製造と性能試験

群馬高専で収穫したケナフを木質部と靱皮に分け、8×0.5×0.5cmに切断し、木質部を105℃で乾燥させたものを、活性炭製造炉(管状炉)で活性炭を製造した¹⁾。Pic.6に活性炭製造炉の外観を示したが、まず昇温時は窒素ガスを流し、1000℃(250℃/Hrで4時間昇温)に到達した後、CO₂ガスに置換をしてCO₂賦活を定温で1時間行った後自然冷却した。

活性炭吸着試験は活性炭製造炉で製造した活性炭と市販の活性炭とを比較するため、対照としては水処理用の代表的な活性炭であるタケダ白鷺WH5C、三菱ダイアホープ6W、カルゴンF300を用いた。タケダ炭の原料は木質、その他は石炭系である。色度の主成分であるフミン酸(Aldrich製市販試薬、20mg/l)を除去対象物として選定した。フミン酸は河川水の色度成分の主成分であり、塩素注入によりトリハロメタンを生成することが知られており、上水処理ではその除去に活性炭が使われている。予め各活性炭を乳鉢で粉碎した後、目開き45μmの篩を用いて篩分けした。篩を通過した活性炭を105℃で乾燥した後、活性炭濃度を50、100、500、1000、2000、5000mg/lに調製した。攪拌は水温25℃、20時間の往復振とう機により行った。吸着後の試料を1μmメンブレンフィルターでろ過した後、残留フミン酸はE250の紫外外部吸光度で濃度を測定し、吸着後の濃度と活性炭当

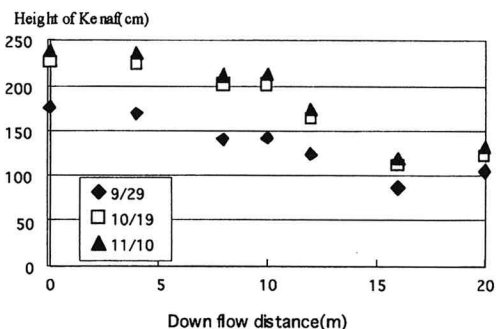


Fig. 4 Relationship between Kenaf height and downflow distance

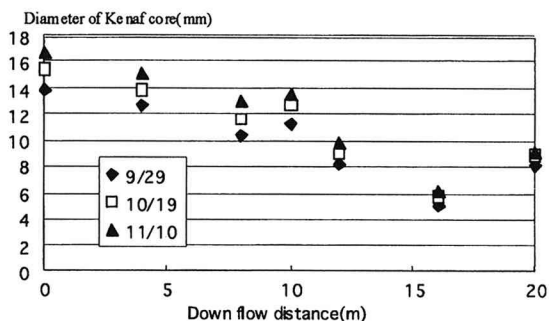
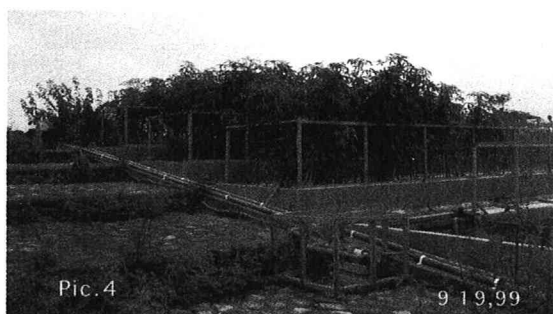


Fig. 5 Relationship between Kenaf diameter and downflow distance

Table 2 Analytical result of the sediment on each point in A channel

Item	Unit	Inflow	4m	8m	12m	16m
Thickness	cm	2.3	1.5	0.7	0.2	0.1
Organics	%	18.5	15.7	13.6	15.8	12.4
Nitrogen	mg/g	9.4	7.2	7.1	9.5	5.1
Phosphorus	mg/g	2.1	1.4	1.3	1.7	0.97
Chlorophyll-a	μg/g	91	55	68	120	46

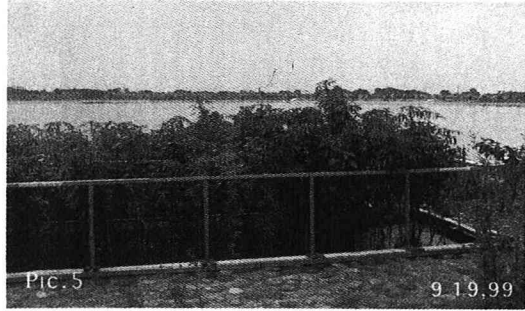
Notes: The length of the superscription shows the distance from the inflow point.



Pic. 4 The complete view of the kenaf hydroculture experimental system

りの吸着量をプロットして吸着線を求めた。

次に渡良瀬貯水池の水質改善を想定し、除去対象物としてかび臭の原因となる2-MIB (和光純薬、1000ng/l)を選定し、フミン酸吸着実験と同様に活性炭を調製した。活性炭濃度は25、10、5mg/lとした。攪拌は水温25℃、20時間の往復振とう機により行い、吸着後の試料を1μmのメンブレンフィルターでろ過した。2-MIB濃度はパージ・トラップ-GC/MS法により測定した。



Pic.5 The change of kenaf height with the stream direction(right->left)

3. 結果および考察

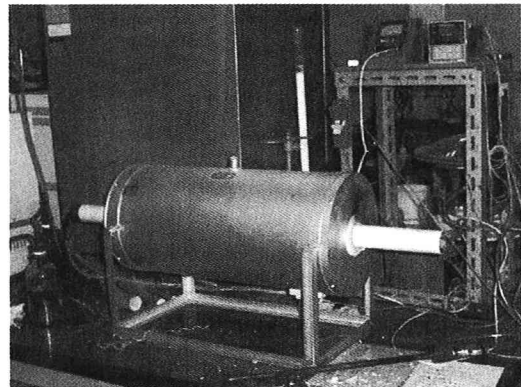
3-1 流入水水質 流入水とA水路流出水

の各項目水質をTable1に示した。T-N,T-P,SS,Chl.aはろ過をしないサンプルの測定値であり、各態窒素・リンの濃度は上澄水の濃度である。SSの平均は21.6mg/lでありChl.aは44.6μg/l、T-Nは1mg/l、T-Pは0.1mg/lであった。またろ液の窒素濃度は、NH₄-N 0.076mg/l、NO₂-N 0.007mg/l、NO_x-N (酸化態窒素:NO₂-N+NO₃-N)0.026mg/lと低く、無機態窒素濃度は0.1mg/lであり、利根川本川の水質(利根大堰で夏季1.5-3mg/l; 当研究室調査)と比較するととても低い値であった。

3-2 ケナフ水耕流出水水質と除去率

1999年10月6日までのA系流出水質平均値は、SS 1.4mg/l、Chl.a 3μg/l、無機態窒素 0.05mg/l、T-N 0.7mg/l、PO₄-P 0.016mg/l、T-P 0.06mg/lであった。SS及びChl.aの除去率は93%に達し、極めて高い除去率を示した。これは水路における沈殿除去とマット状に成長したケナフ根のろ過によるSS除去の効果と思われる。ケナフ浄化水路の流出水中の溶解性窒素・リン濃度は、富栄養化を起こすとされる濃度(N<0.15mg/l,P<0.02mg/l)を十分下回っており、ケナフ浄化水路により非常に良好な流出水が得られることがわかった。各水質項目の入口・出口濃度を比較してFig.3に棒グラフで示した。溶解性無機態窒素各濃度は、ごく低濃度にもかかわらず約50%が除去されているが、溶解性リンは殆ど除去されておらず、またSSを含んだT-N,T-Pの除去率は、それぞれ32.5%, 41.9%であった。

A水路での水面積当り流入窒素負荷(9月上旬から10月中旬の平均)は無機態窒素(除去可能な窒素の全量と考えられる)で、0.13g/m²/D、また水面積当り除去速度は0.07g/m²/Dであった。この値は、栄養塩濃度が高く濃度律速を起こさないため池におけるケナフ生育実験での単位面積除去速度の平均0.56g/m²/D⁹⁾に対して13%程度の速度



Pic.6 The experimental activated carbon generating furnace

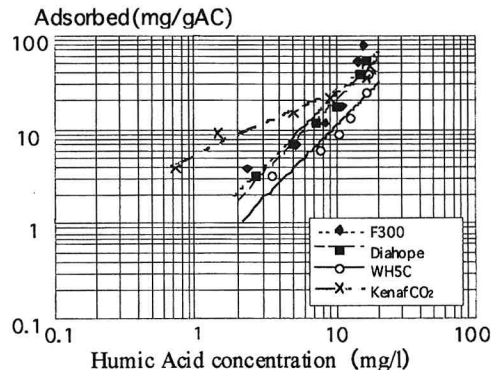


Fig.6 The relation of each activated carbon between adsorption ratio and humic acid concentration after 20hrs mixing

であった。

3-3 水質とケナフ成長の関係 Table1に示した流入水中の溶解性無機態窒素濃度は、ケナフの成長を律速する低濃度(Abe et al.¹⁰)によれば、ケナフのNに対するMichaelis-Menten式のKs値は0.5mg/l,Pに対して0.3mg/lであり、実験開始当初は滞留時間が比較的長かったこともあって、ケナフの生長は流入部と流出部で明らかな差異がみられた。Fig.4は、測定日をパラメータとした水路流下方向のケナフ高さの変化を示しており、Fig.5は同じくケナフ幹太さの変化を示しているが、下流に行くほど低く細くなるのがわかる。この成長の関係は、Pic.4(左が流入端)・Pic.5(右が流入端)でも明らかである。

A水路では、実験開始から1ヶ月を経過した頃から底泥の堆積が観察された。実験終了時(11月25日)にTable2に示すようにA水路の堆積泥厚を測定し、堆積泥の有機物含量、N・P含量とクロロフィルaを測定した。堆積泥深さは流入端で2.3cmと最も深く、流下とともに減少し10mの中央部で0.5cm以下となり20m離れた流出端では検出されなかった。底泥中の有機物は12~18%(熱灼減量)でありN・Pも含まれているので、ケナフの生長には流入水質中のN・Pとともに、堆積泥中のN・Pが影響していると思われる。

3-4 フミン酸に由来する窒素成分 3-2に示したように、ケナフ水耕栽培試験ではSS除去率が高く、溶解性窒素成分の除去も良好であるが、T-Nの除去率は低く0.69mg/lが放流水中に残存した。渡良瀬貯水池は滞留時間の長い湖であり、流入する河川水(渡良瀬川、利根川、谷田川)にも生活排水系の着色を含むフミン質(フミン酸およびフルボ酸)が含まれているので、湖水の色調や水質項目(TOCやE260:例えば10/19のA水路流入・流出水のE260はそれぞれ0.08, 0.07であった)から相当濃度のフミン酸が含まれていると推察される。そこで色度成分であるフミン酸に由来する窒素成分を検討してみる。

安定系の有機物であるフミン酸のN/C比は、9.3%~7.3%と報告されている¹¹⁾。本実験中の処理水中溶解性TOCは6~7mg/lであった(7月から10月までの平均⁷⁾)ので、このTOCの殆どは着色成分のフミン酸と仮定すると、フミン酸に由来するN濃度は0.5~0.65mg/lとなるが、この値は、Table1に示した流出水T-N濃度の0.7mg/lとほぼ同じであり、流出水に含まれるT-Nは、フミン酸に由来する結合型の安定した窒素と想定され、富栄養化には影響しない形態と思われる。

3-5 ケナフ活性炭によるフミン酸吸着試験

Fig.6にケナフ活性炭(1000℃、CO₂賦活)と他

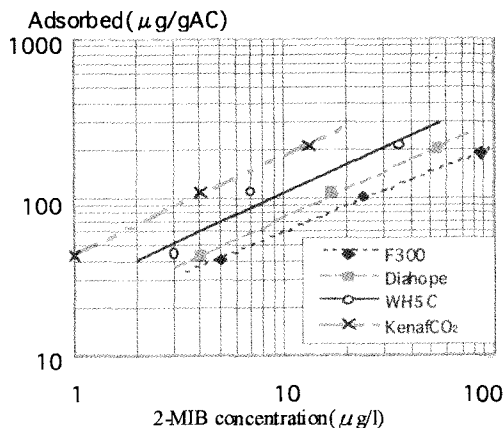


Fig.7 The relation of each activated carbon between adsorption ratio and 2-MIB concentration after 20 hours mixing

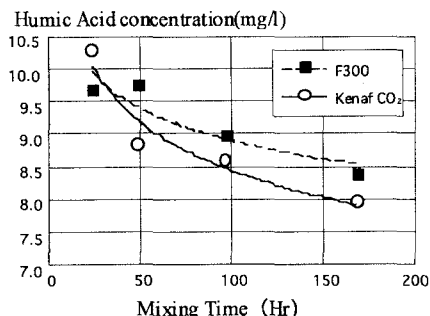


Fig.8 Effect of mixing time on an adsorption test with humic acid

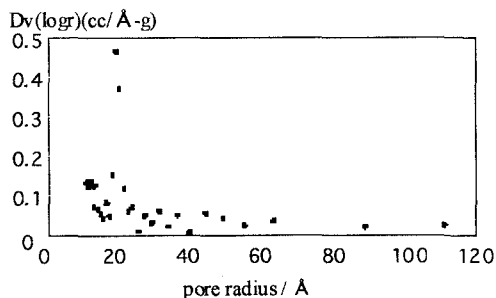


Fig.9 Pore radius distribution of kenaf activated carbon (1000℃、CO₂ activation)

活性炭に限られた震とう時間(20h)における色度除去特性を示した。ケナフから製造した活性炭のフミン酸吸着特性は、今回比較した市販の活性炭とほぼ同等であり、特に低濃度領域での吸着量が多いことが特徴的であった(低濃度領域では市販炭より高性能である)。

3-6 ケナフ活性炭による2-MIB(カビ臭)吸着試験 Fig.7にケナフ活性炭(1000℃、CO₂賦活)の同一震とう時間(20h)におけるかび臭(2-MIB)吸着特性を示した。比較対象として、色度吸着実験と同様の代表的な活性炭を用いたが、かび臭に対してもケナフ活性炭は最も高い吸着性能を示し、渡良瀬貯水池のような富栄養化した湖沼環境では、初年度に栄養塩除去を目的に生育させ、次年度にはその回収茎から活性炭を製造し、かび臭の除去に活用するという循環利用が可能であると予測される。

3-7 活性炭吸着における震とう時間の影響

3-5, 3-6の吸着試験は全て、20時間・25℃で往復震とうすることで求めたが、別途フミン酸を用い震とう時間を変化させて、時間と吸着濃度の関係を調べた。各活性炭濃度は500mg/l・フミン酸濃度20mg/lの条件とした。ケナフ活性炭(1000℃、CO₂)とF300と比較した結果を、Fig.8に示した。20時間の震とうでは、F300のほうが吸着濃度が低いが、震とう時間を延長するにつれて、ケナフ活性炭の吸着濃度のほうが低減してくることがわかった。

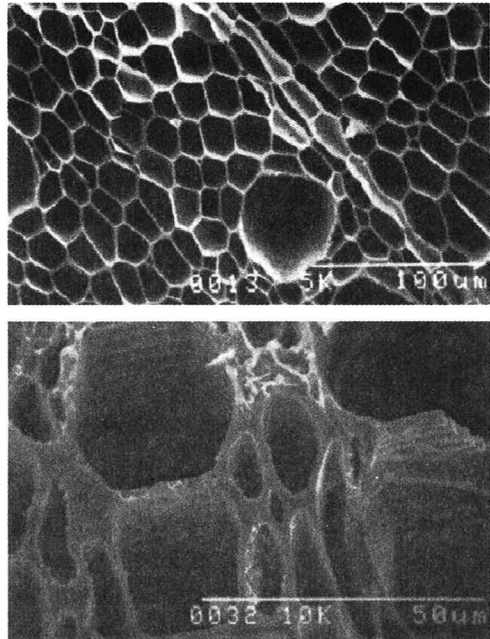
3-8 ケナフ炭の細孔分布と活性炭の形状

細孔分布の測定は300℃、5hの真空排気による前処理後、77K条件下でN₂吸着測定により算出した。Fig.9にケナフ活性炭(1000℃、CO₂賦活)の細孔分布を示した。細孔半径は18Å付近にピークがあり、その他にも10Å以下のマイクロ孔があり、本サンプルはメソ孔とマイクロ孔の両方が発達していると考えられる。また比表面積は、BET多点法で670m²/gであった。また賦活温度が800℃の場合には比表面積は約30%低下した。これらの結果からケナフから製造した活性炭は十分な比表面積を持っており、市販の活性炭と能力的には大差がないものと考えられる。

次に製造したケナフ活性炭(1000℃、H₂O賦活)の構造を、日立S-2050走査型電子顕微鏡で調べた結果、ケナフ炭には直径10-30μm程度の穴(導管・師管及び細胞壁と思われる)が無数に開いており、カルゴン炭とは全く異なる形状を示していることがわかった。この形状は、活性炭の吸着能力とは別に微生物の住み家としての活用に可能性が高いことを示唆している。ケナフは木質系としては最も軽い素材である¹²⁾ので、ケナフ活性炭は木質系では密度が最も低い活性炭であり、これらの特性を生かした活用が期待される。

3-9 渡良瀬貯水池におけるケナフの適用可能性について

ケナフを用いた貯水池浄化の検討は従来殆どなされていないので、本研究では基本的な検討項目の一部を明らかにしたに過ぎず、引き続きの検討が必要であるが、現時点での適用可能性について若干ふれる。ケナフは、単位面積収量が大きいのでヨシ等の植物に比べて、より少ない面積で池水の浄化が可能であるが、高さが高いために転倒防止の支えが必要となり、また収穫して活性炭等に利用することを考えると、回収の容易さも必要となる。しかし根がネット状に发育するためにSSの捕捉に好



Pic.7 SEM photo of a kenaf activated carbon (1000°C, H₂O activation)

都合であり、面積収量が多いために栄養塩の除去効果が高く、短い滞留時間(1時間程度)でかけ流すことが可能である。回収茎の利用可能性が高いことは実用化へつなげるわけであるが、ケナフ活性炭は軽くて柔らかいので当面粉末炭での使用が利用しやすい形である。なおケナフは関東地方では自生は不可能であるので、在来の生態系を攪乱する危険性はない⁹⁾が、そのために毎年苗造りから開始する必要があり、栽培作物と同等の扱いが必要である。

4.まとめ

本実験は植物による水質浄化としては、異例の低濃度で実施した実験であり、水生植物としてのケナフにより、低減できる栄養塩濃度の限界を明らかにしたものであり、以下に示す知見が得られた。

- 1.ケナフを用いた水耕栽培により、無機態窒素 $<0.05\text{mg/l}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}<0.016\text{mg/l}$ のごく低濃度の流出水が安定して得られることがわかった。この濃度領域は、ケナフの生長を律速する濃度であり、ケナフの成長は流下するに従って低く細く変化した。
- 2.ケナフは水耕でもよく成長し、根圏ではSSの沈殿ろ過による除去と成長に伴うN,Pの吸収により、SS及び溶解性栄養塩の除去がなされるために、貯水池の浄化に有効である。
- 3.成長したケナフ幹から製造した活性炭は、フミン酸を対象とした吸着試験では市販活性炭とほぼ同等の高い性能を示し、低濃度領域での単位吸着量では市販炭を上回って良好であった。またカビ臭(2-MIB)を対象とした場合には、市販炭よりも良好な性能を示した。これらのことから、ケナフの水耕栽培によりSSの除去を行い富栄養化現象を抑制し、次に成長したケナフ幹から製造した活性炭で池水のカビ臭の除去が可能であり、貯水池の水質浄化にケナフは高い可能性を持っていることがわかった。

謝辞

本研究では、ケナフ苗の供給と各態窒素・リンの水質分析及び活性炭の性能試験を群馬高専で実施し、その他は国土交通省利根川上流工事事務所にて実施したものである。現地での成育試験についてはNS環境(株)に実施頂いた。本研究における活性炭吸着試験の詳細については、岐阜大学流域環境研究センター長・湯浅教授にご指導を頂いた。また使用した活性炭は各メーカーから供給を受けた。ケナフ活性炭の製造および電顕写真については、群馬高専物質工学科小島教授に協力いただいた。2-MIBの分析については、国土交通省利根川上流工事事務所にて実施したものである。ケナフ活性炭の細孔分布計測は北大の渡辺教授/岩本教授に協力をいただいた。さらに高専におけるケナフの栽培と活性炭製造・等温吸着試験には、多くの環境都市工学科学者諸君の協力を頂いた。ここに記して謝意を示します。また本研究の一部は(財)廃棄物研究財団及び(財)昭和シェル石油環境研究助成財団の助成によるものであることを付記する。

参考文献

- 1)平野景子、青井 透、小島 昭(1997)、ケナフから製造した活性炭によるフミン酸の除去、環境技術研究協会「環境用水の汚濁とその浄化」第4回シンポジウム講演論文集、pp144-147
- 2)青井 透(1997)ケナフによる水質浄化の可能性、第5回北海道大学衛生工学シンポジウム論文集、pp166-170
- 3)青井 透、大森美香子(1999)水耕ケナフ栽培による水中からの栄養塩除去と回収植物体の有効利用、(財)地球・人間環境フォーラム(ケナフ協議会)、第4回ケナフ等植物資源利用研究会と第7回特別講演会予稿集、pp10-1~2
- 4)Aoi,T.(1999)Water Quality Control and Management in Tone River Basin -Water Purification with Kenaf and Effective Utilization of Grownup Biomass, JICA textbook for the specially offered training course in water quality management(水質環境管理)
- 5)青井 透(2000)複数のアフリカ原産植物を用いた汚濁湖沼の浄化と回収植物体の有効利用、財団法人昭和シェル石油環境研究助成財団、第4回助成研究成果報告書、pp44-45
- 6)NS環境(株)(1999)ケナフ浄化実験検討業務報告書、建設省利根川上流工事事務所納入
- 7)NS環境(株)(2000)ケナフ等植生浄化実験報告書、建設省利根川上流工事事務所納入
- 8)大森美香子、青井透、大島秀則(1998)水質浄化に利用したケナフから製造した活性炭の色度・かび臭除去性能の評価、土木学会環境工学研究フォーラム講演集、pp4-6
- 9)青井 透、鈴木 学(2001)木質系熱帯性草本ケナフの水質浄化能力と成育特性、土木学会環境工学論文集、Vol.38、投稿中
- 10)Abe,K.,Ozaki,Y. and Mizuta, K.(1999)Evaluation of Useful Plants for the Treatment of Polluted Pond Water with Low N and P Concentration, Soil Sci. Plant Nutr.,45(9).pp409-417
- 11)Watanabe,A.,Ito,K.,Arai,S. and Kuwatsuka,S.(1944) comparison of the composition of humic acid and fulvic acids prepared by the IHSS method and NAGOYA method, Soil Sci. Natr. 40(4), pp601-608
- 12)青井 透(2001)ケナフ水耕ベッドによる水の浄化とケナフの有効利用、非木材紙普及協会、第4回ケナフ栽培・利用研究発表要旨集、pp25-29